

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Facultad de Ingeniería

PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA INTEGRADA DE GESTIÓN ENERGÉTICA BASADA EN ISO 50001 Y EL ENFOQUE LEAN MANUFACTURING PARA EL SECTOR MANUFACTURERO EN COLOMBIA

Autor

Carlos Romero Rodríguez

Director

Fredy Martínez Sarmiento. PhD

Universidad Distrital Francisco José De Caldas

Maestría en Gerencia Integral de Proyectos

Énfasis en proyectos de cooperación internacional

Bogotá, Colombia

marzo de 2025

RESUMEN

Contexto: El crecimiento poblacional constante en Colombia ha impulsado un aumento sostenido en las necesidades de recursos energéticos, lo que se traduce en una mayor demanda de energía en el sector industrial. Este escenario ha llevado a que el uso eficiente de los recursos en las industrias cobre una relevancia crucial, dado el contexto del mercado global actual, marcado por tres factores clave: la competitividad, la productividad organizacional y el impacto ambiental derivado del consumo energético. Ante este desafío, surge una pregunta fundamental: ¿Es posible implementar soluciones que permitan reducir el consumo energético en el ámbito industrial?

Método: Para abordar la pregunta planteada, se proponen diversas alternativas centradas en la reducción del consumo energético en las industrias manufactureras de Colombia, con el objetivo de optimizar la gestión de los recursos y prevenir problemas asociados a altos niveles de consumo y posibles racionamientos. Es importante destacar que la eficiencia energética no es la única solución a los desafíos energéticos. Existen otras opciones, como programas públicos orientados a mejorar los hábitos de consumo, la integración de energías renovables, la automatización de procesos y la autogeneración de energía mediante fuentes renovables para consumo propio.

Resultados: A pesar de que existen alternativas de reducción de costos asociados al consumo energético, la gestión eficiente de la energía se constituye como la alternativa más económica y viable puesto que es la base para implementar el resto de las alternativas coherentemente. Actualmente la metodología más reconocida y utilizada para gestionar eficientemente los recursos energéticos corresponde a la establecida en la norma ISO 50001. No obstante, esta metodología no incluye ciertas herramientas y prácticas enfocadas en la eliminación de desperdicios con potencial de adaptación al sector energético, las cuales han sido desarrolladas en mayor profundidad dentro del enfoque Lean Manufacturing. Por ello, el presente proyecto de grado busca contribuir al conocimiento mediante la integración de ambas metodologías con un enfoque en la gestión energética.

Conclusiones: La metodología que será propuesta pretende complementar las metodologías de gestión de energía existentes bajo un enfoque de integración de la norma ISO 50001 y con el enfoque Lean Manufacturing, centrado en la eliminación de desperdicios, de tal manera que pueda ser aplicada en las industrias del sector de la manufactura en Colombia considerando el marco de los objetivos de desarrollo sostenible y el presente plan de desarrollo del país cuyo enfoque se basa en la implementación de las energías limpias, desarrollo sostenible e industrias inteligentes (Suarez R., 2020).

PALABRAS CLAVE

Energía, consumo energético, ISO 50001, LEAN Manufacturing, eficiencia energética, sistema de gestión de energía.

Contenido

Resumen 2
Palabras Clave 3
1. Introducción 7
2. Análisis del contexto 9
2.1 Análisis del contexto 9
2.1.1 Análisis político 9
2.1.1.1 Panorama energético internacional 10
2.1.1.1 Panorama energético en Colombia 11
2.1.2 Análisis Económico y social 13
2.1.2.1 Diagnóstico sectorial internacional 13
2.1.2.1 Diagnóstico sectorial nacional 15
2.1.3 Análisis Tecnológico 17
2.1.4 Análisis Ecológico 18
2.1.4.1 Objetivo 7. Energía asequible y no contaminante 20
2.1.4.2 Objetivo 11. Ciudades y comunidades sostenibles 20
2.1.4.3 Objetivo 12. Producción y consumo responsables 21
2.1.4.4 Objetivo 13. Acción por el clima 21
2.1.5 Análisis Legal 21
2.1.5.1 Plan de acción PROURE y su propósito 22
3. Marco lógico 23
3.1 Análisis de partes interesadas 23
3.2 Situación problémica 25
3.3 Potenciales alternativas de solución 28
3.3.1 Programa públicos de mejoramiento de hábitos de consumo: 28
3.3.2 Automatización de infraestructura e instalaciones de los productores: 28
3.3.3 Generación energética a través de fuentes renovables para consumo propio (Autogeneración) 28
3.3.4 Implementación de sistema de gestión de eficiencia energética 29

3.3.5 Implementación de Lean Manufacturing 29
3.4 Pregunta de investigación..... 32
3.4.1 Hipótesis..... 32
3.5 Ruta de investigación y objetivos..... 32
3.5.1 Ruta de investigación 32
3.5.2 Objetivos 33
3.5.2.1 Objetivo general 34
3.5.2.2 Objetivos específicos..... 34
4. Caracterización de las metodologías (LEAN Manufacturing e ISO 50001)..... 35
4.1 Generalidades de las metodologías de gestión de energía..... 35
4.1.1 Metodologías objeto de integración, ventajas y desventajas en un sistema de gestión de energía: 36
4.1.1.1 Norma ISO-50001: 36
4.1.1.2 LEAN Manufacturing:..... 38
4.2 Método de busqueda 42
4.2.1 Proceso de muestreo..... 43
4.2.2 Análisis de datos 44
4.2.2.1 Análisis bibliométrico 44
4.2.2.2 Resultados 44
4.2.3 Análisis de contenido:..... 46
4.2.3.1 Estructura de la metodología establecida en la norma ISO 50001 (Sistemas de gestión de la energía — Requisitos con orientación para su uso) – “Anexo SL” 46
4.2.3.2. Estructura “Lean Manufacturing” 57
4.2.3.3. Principios Lean enfocados la gestión eficiente de recursos energéticos 62
4.2.3.4. Principales elementos de Lean Manufacturing..... 82
5. Propuesta metodológica para la integración de un sistema de gestión basado en la norma ISO 50001 y lean manufacturing. 157
6. Métricas de medición de efectividad de la metodología – Indicadores de desempeño 169

6.1 Línea base 170
6.1.1 Línea de base energética Univariable 171
6.1.2 Línea de base energética Univariable 172
6.1.3 Revisión y actualización de la línea de base energética. 172
6.2 Indicadores de desempeño energético 173
6.2.1 Indicadores usados en la medición de mejora del desempeño energético 175
6.2.1.1. Indicador Base 100 (IB 100). 175
6.2.1.2. Indicador de tendencia del desempeño Energético. 176
6.2.1.3. Indicador de emisiones de CO2 177
6.2.1.4. Indicador del presupuesto de energía 177
7. Validación teórica de la metodología mediante el Juicio de expertos 178
7.1 Criterios de selección de expertos 179
7.1.1 Criterios de inclusión 179
7.1.2 Criterios de exclusión 180
7.1.3 Tamaño y composición del panel 180
7.1.4 Justificación de la selección 180
7.2 Instrumento de validación 181
7.2.1 Estructura del instrumento 181
7.2.2 Escala de medición: 182
7.2.3 Validación previa del instrumento: 182
7.2.4 Cuestionario para la validación de la metodología: "PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA INTEGRADA DE GESTIÓN ENERGÉTICA BASADA EN ISO 50001 Y EL ENFOQUE LEAN PARA EL SECTOR MANUFACTURERO EN COLOMBIA": 182
7.3 Resultados de la validación teórica 187
7. Conclusiones 192
8. RECOMENDACIONES Y FUTUROS TRABAJOS 194
9. REFERENCIAS 195

1. INTRODUCCIÓN

El sector energético en Colombia es un área que corresponde a una de las actividades consideradas como primarias en la economía del país puesto que aporta en gran medida a su desarrollo. Su enfoque radica en el aprovechamiento de los recursos no renovables y de energías no convencionales cuyo potencial apenas ha sido explorado. Este sector atraviesa por una de las etapas más importantes de la historia en el país, cuyo crecimiento obedece al impacto generado por las energías renovables y por el aumento en la demanda de energía eléctrica del año 2021 correspondiente al 5,51% con respecto al consumo del 2020 (XM, 2022).

Colombia fue el país con la tercera tasa de crecimiento más alta entre las economías de Latinoamérica, después de Perú (13,3%) y Chile (11,7%). Luego de la caída del 7% que tuvo el PIB en 2020, la cifra de crecimiento económico colombiano en 2021 fue 10,7%. El crecimiento anual de la demanda de energía eléctrica del 5,51% se explica por la recuperación del mercado no regulado, que creció 9,52%, después de que, en 2020 fue el mercado que resultó más impactado por la pandemia (-6,42%). Al examinar el crecimiento económico por el lado de la oferta, la mayor recuperación y crecimiento durante 2021 se presentó en las actividades más afectadas durante 2020 por la restricción de aforos: entretenimiento (33,1%), comercio (20,9%), transporte (17,4%), e industria (16,4%). Por su parte, el sector servicios públicos domiciliarios tuvo su mayor crecimiento desde 2006 (5,1%) impulsado por el incremento de la generación, para atender la mayor demanda industrial de energía. (UPME, 2022)

En 2021, se observaron niveles de demanda en el MNR (Mercado No Regulado) superiores a los previos a la pandemia, el crecimiento anual de este mercado fue 9,52%. La actividad con mayor tasa de crecimiento fue la de industrias manufactureras con un aumento del 12,86%, seguido por explotación de minas y canteras con 7,22%. En términos sectoriales, la industria (5,5%), el comercio (6,8%) y las comunicaciones (4,6%) serían las actividades que tendrían los mayores crecimientos durante 2022. Las previsiones de crecimiento de minería (0,2%) y suministro de electricidad, gas y otros (2,1%) estarían por debajo del crecimiento promedio de la economía.

Considerando que en Colombia el sector industrial corresponde a uno de los tres principales motores en el crecimiento de la economía del país, se han realizado grandes esfuerzos por mitigar los daños al medio ambiente, a través de campañas, programas y normatividad, en busca de una cultura energética en todos los niveles. Sin embargo, su aplicación es voluntaria en casos específicos. Dentro de estas iniciativas se destacan la ley 697 de 2001, mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, la resolución 180919 de 2010 del Ministerio de Minas y Energía, se adopta el Plan de acción indicativo 2010-2015 para desarrollar el PROURE, la inclusión del estándar ISO 50001 como una norma técnica colombiana en el 2011, la inclusión de reglamentos técnicos tendientes a garantizar la seguridad eléctrica y la eficiencia energética tales como el RETIE, RETILAP y RETIQ, la ley 1715 del 13 de mayo de 2014 mediante la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional otorgando beneficios y excepciones de impuestos, la resolución 029 del 7 de marzo de 2016 mediante la cual se tarifas diferenciales para promover el ahorro voluntario de energía y finalmente el principal referente para el desarrollo del presente proyecto, el plan de Acción Indicativo 2022 – 2030 para el desarrollo del programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PAI-PROURE 2022- 2030) que define objetivos y metas indicativas de eficiencia energética

Teniendo en cuenta el enfoque del gobierno y sus iniciativas dirigidas a garantizar el uso eficiente de la energía, como las acciones orientadas al programa PROPURE, este proyecto de investigación aplicada tiene como objetivo diseñar una metodología que integre diversas herramientas y enfoques utilizados en los sistemas de gestión energética, como la norma ISO 50001 y la metodología Lean Manufacturing, centrada en la eliminación de desperdicios que será enfocada al sector energético. La metodología propuesta buscará reducir el consumo energético de manera eficaz, facilitando su implementación y asegurando la sostenibilidad de las industrias del sector eléctrico. El diseño de la metodología se basará en la medición y análisis de datos de consumo energético, lo que permitirá evaluar el estado actual de estos sistemas y realizar un diagnóstico energético preciso.

2. ANÁLISIS DEL CONTEXTO

2.1 ANÁLISIS DEL CONTEXTO

Para el desarrollo del análisis del contexto se aplicará la herramienta denominada PEST o PESTEL utilizada para obtener un análisis de las características y los cambios del entorno que pueden afectar el éxito del proyecto. El nombre de esta metodología es un acrónimo que viene de las siglas de los factores analizados, políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos y legales (Ver Figura 1). Esta herramienta, creada por Liam Fahey y V.K. Arrayana, facilita el entendimiento del contexto en el que va a desarrollar el proyecto, ayudando a comprender las evoluciones de los mercados en los que se mueve la empresa, así como las dificultades y los retos a los que se puede enfrentar (Tabernero Polo, 2019)

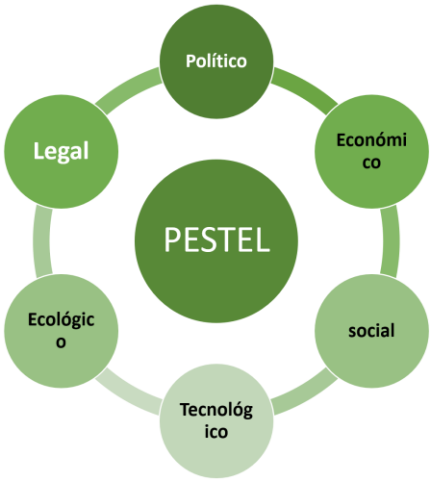


Figura 1: Gráfico de Componentes herramienta PESTEL.
Fuente: Elaboración propia

2.1.1 Análisis político

Mediante el plan energético nacional Colombia "ideario energético 2050" se presentan algunas ideas sobre el desarrollo futuro del sector energético colombiano que pueden servir de base para la elaboración e implementación de una política energética El documento hace las veces de un Plan Energético Nacional, 2014 – 2050, pero sin tener estructurados los mapas de ruta para los objetivos propuestos. Esto deberá hacerse en asocio con el Ministerio de Minas y Energía. De esta manera, se ha encontrado

conveniente denominarlo Colombia: Ideario Energético 2015, pues en él se señalan pautas y líneas de acción recomendables. El documento presenta una revisión de las tendencias internacionales en materia energética, de los cambios técnicos y de negocios que se han venido presentando para garantizar la seguridad del suministro con una canasta diversificada y precios competitivos; aumentar la cobertura y reducir la pobreza energética; aportar al crecimiento de las economías y desarrollo de poblaciones y regiones; facilitar la introducción de las nuevas fuentes y tecnologías energéticas, de control, información y telecomunicaciones; y minimizar los impactos negativos al ambiente con la construcción de un sistema sostenible hasta donde ser posible. A continuación, se presenta un breve resumen del panorama de eficiencia energética a nivel nacional e internacional (González Estrada, 2015).

2.1.1.1 Panorama energético internacional

En los últimos años estamos viendo cambios importante en las sistemas energéticos que llevaran a canastas energéticas más diversificadas con tendencia a incorporar energéticos y tecnología más limpias, a propiciar mejores usos de la energía y a contar nuevas formas de hacer negocios. Las preocupaciones por la seguridad del suministro energético, por reducir los impactos sobre el medio ambiente mejorar las condiciones de adaptabilidad a los cambio del clima y por incorporar elementos de competencia en la entrega de los servicios energéticos hacia una mayor eficiencia; unido a los desarrollo en las tecnologías de información, comunicaciones y a las metodologías de control y monitoreo han producido resultados interesantes. Un aspecto importante para señalar es que en el mundo ha venido tomando fuerza desde hace ya algunos años algo que se ha dado en llamar la “transición energética” (energiewende en alemán). Algunos la definen como “un conjunto significativo de cambios en los patrones de uso de la energía en una sociedad, afectando los recursos, los portadores, los equipos y los servicios energéticos”. Esta transición está caracterizada por un cambio hacia energías renovables como principal medio de producción energética, reduciendo progresivamente la producción con combustibles fósiles y carbón. Varios países como Alemania siguen con el propósito de desmontar el parque nuclear.

El motivador principal ha sido la preocupación de los países desarrollados por el cambio climático y la producción de dióxido de carbono (CO_2) como aportante principal a la

concentración atmosférica de gases de efecto invernadero. La seguridad de la oferta energética y la diversificación de la canasta son un segundo motivador, debido principalmente a aquellas corrientes que consideran que estamos muy cercanos a llegar al pico de la producción petrolera y que estaríamos próximos a entrar en una fase declinante (González Estrada, 2015).

2.1.1.1 Panorama energético en Colombia

La propuesta de eficiencia energética en Colombia responde a los lineamientos de la nueva política en EE (Eficiencia energética) formulada por el MME Ministerio de Minas y Energía) y se basa en información generada por la UPME en el periodo 2010 – 2015, dentro de la cual se destacan las caracterizaciones energéticas sectoriales, la evaluación costo-beneficio, las proyecciones de energía eléctrica y de gas, así como los escenarios analizados para el sector transporte y tiene en cuenta insumos de la consultoría contratada por el Ministerio de Minas y Energía en el tema, de la ECDBC, del Plan Nacional de Desarrollo, PND y del Plan Energético Nacional- PEN, la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire, entre otros. Por lo cual el MME adopta el Plan de Acción Indicativo 2022 – 2030 para el desarrollo del Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía, PROURE, que define objetivos y metas indicativas de eficiencia energética, acciones y medidas sectoriales y estrategias base para el cumplimiento de metas y se adoptan otras disposiciones. El PAI-PROURE 2022-2030 tiene como visión a 2030 reducir la brecha tecnológica en el uso de la energía mediante la adopción de medidas, dispositivos y equipos costo eficientes. Su apuesta es que la reconversión tecnológica del sector energético sea parte fundamental de su transformación y, por ende, del desarrollo sostenible de Colombia(MME & UPME, 2022).

En cuanto a las medidas sectoriales y específicamente para el sector industrial donde será desarrollado el presente proyecto se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Reducir las ineficiencias de los equipos de uso final de la energía a través del cambio tecnológico en fuerza motriz, calor directo e indirecto y refrigeración.
- Promover las buenas prácticas de operación que reduzcan los consumos de energía, a mínimo costo

- Generar una cultura de eficiencia energética a partir del concepto de gestión integral de la energía, GIE, que incluye la implementación de Sistemas de Gestión de la Energía, SGEn, bajo la **NTC ISO 50001**, el control operacional y la submedición avanzada

A continuación, se señalan las medidas y acciones sectoriales para el cumplimiento de las metas establecidas en el PAI-PROURE 2022- 2030:

- Fuerza motriz
    - Buenas prácticas en la operación y mantenimiento de los sistemas de fuerza motriz, aire comprimido y control de fugas.
    - Adquisición de motores y variadores de alta eficiencia.
- Calor directo
    - Adquisición y mantenimiento de aislamientos térmicos.
    - Adquisición de equipos de optimización de la combustión y recuperación de calor.
- Refrigeración
    - Instalación de puertas en gabinetes para sistemas de refrigeración.
    - Drop-in para un sistema de refrigeración a un refrigerante con un potencial de calentamiento global (GWP, por sus siglas en inglés) menor a 1400.
    - Control y ajuste del subenfriamiento en el evaporador para sistemas de refrigeración y de control de fugas
    - Adquisición de equipos de refrigeración y compresores
    - Adquisición de equipos de control y automatización de refrigeradores
    - Adquisición de equipos para la recuperación de calor de la refrigeración.
- Calor indirecto
    - Adquisición de equipos de optimización de la combustión y de recuperación de calor y vapor.
    - Adquisición y mantenimiento de aislamientos térmicos.
    - Adquisición de economizadores para calderas.
- **Sistemas de gestión de la energía**
    - Servicios de diseño y acompañamiento en la implementación de la norma ISO 50001.

- Servicios de certificación de la norma ISO 50001.
- Adquisición de equipos que no se encuentren listados pero que hagan
- parte de la certificación de la norma ISO 50001.
- Adquisición de medidores para la submedición en los equipos de uso final.

2.1.2 Análisis Económico y social

2.1.2.1 Diagnóstico sectorial internacional

Considerando que el sector eléctrico a nivel mundial reacciona en función del comportamiento del crecimiento económico de las naciones; para conocer el contexto del mercado energético es necesario generar una relación con respecto al desarrollo de la economía mundial. Es por ello que una vez superada la crisis generada por el estado de pandemia declarado a causa de COVID-19 cuya consecuencia a nivel energético internacional terminó en un retroceso en la demanda de energía de un 0,7% en el año 2020 con respecto a años anteriores. Para el año 2021 se evidenció un crecimiento en la demanda energética del 5,5% lo que representa un 4,8% más con respecto al año 2019 (Ver Figura 2)(Enerdata, 2021)

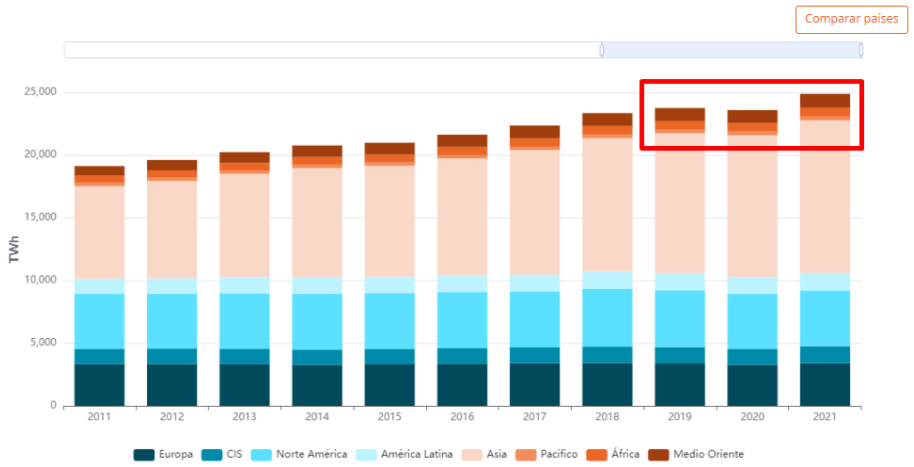


Figura 2: Tendencia de consumo energético internacional 2011-2021.

Fuente: (Enerdata, 2021)

En China, el mayor consumidor de electricidad con una cuota del 31 % del consumo mundial, el consumo de energía aumentó casi un 10 %, superando de este modo la tendencia de 2010-2019 (+7,3 % anual) y su nivel de 2019, impulsado por la recuperación económica.

La recuperación económica en otros países también reavivó la demanda eléctrica, especialmente en Europa (+4 %, volviendo al nivel de 2019, con fuertes subidas en Turquía, Francia, Alemania, Italia y Polonia), en Estados Unidos (+1,7 %, ligeramente por debajo del nivel de 2019) y en Rusia (+6 %). El consumo de electricidad aumentó en la mayoría de los países de la región Asia-Pacífico con cerca de un 5 % más en la India, Indonesia y Corea del Sur, aunque se estancó en Australia y disminuyó en Japón en un marco de estrictas políticas contra la COVID-19. La contraparte es que permaneció estable en Canadá.

En cuanto a América Latina el consumo de electricidad se recuperó (+6,1 %, con un crecimiento del 8,6 % en Brasil y tendencias dinámicas en México, Argentina, Chile y Colombia), en África en torno al +5 %, del cual una subida del 2,3 % se produjo en Sudáfrica y en Oriente Medio con alrededor del 5,5 % más, destacando un +4 % del total de consumo en Arabia Saudita (Enerdata, 2021)

En la Figura 3, se presenta el mapa de consumo energético, y se relaciona el consumo en unidades de [TWh] para los países de mayor demanda a nivel mundial para el año 2021.

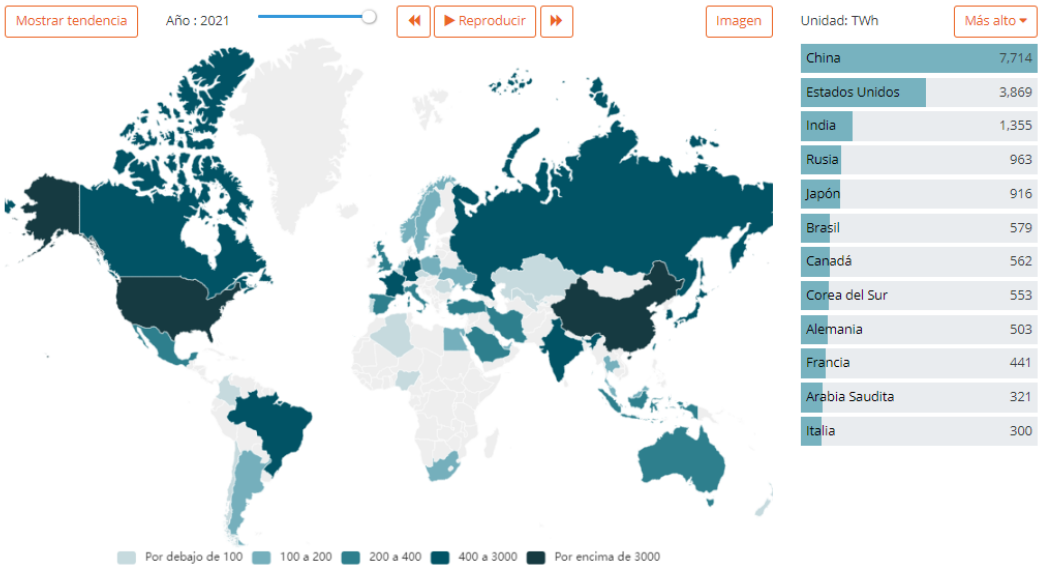


Figura 3: Consumo de energía por país [TWh].
Fuente: (Enerdata, 2021)

A pesar de que las tendencias del crecimiento económico global muestran un claro aumento en el nivel de consumo de energía en función del tiempo, tal como pasó en el 2021, para el año 2025 se espera que se presente un estancamiento causado por el

conflicto entre Ucrania y Rusia que contribuirá a una desaceleración significativa del crecimiento mundial que provocará un rápido aumento en la inflación. Se proyecta que el crecimiento mundial se desacelere del 6,1% estimado para 2021 a 3,6% en 2022 y 2023. El encarecimiento de las materias primas provocado por la guerra y la ampliación de las presiones de precios se han traducido en una inflación proyectada para 2022 de 5,7% en las economías avanzadas y de 8,7% (International Monetary Fund, 2022)

2.1.2.1 Diagnóstico sectorial nacional

El sector energético en Colombia es un área que corresponde a una de las actividades consideradas como primarias en la economía del país puesto que aporta en gran medida a su desarrollo. Su enfoque radica en el aprovechamiento de los recursos no renovables y de energías no convencionales cuyo potencial apenas ha sido explorado. Tal como se muestra en la Figura 4, este sector atraviesa por una de las etapas más importantes de la historia cuyo crecimiento obedece al impacto generado por las energías renovables y por el aumento en la demanda de energía eléctrica del año 2021 correspondiente al 5,51% con respecto al consumo del 2020. Esta tasa de crecimiento energético anual del país corresponde al valor más alto registrado en los últimos 10 años y evidencia la activación económica de la nación, incluso superando el impacto generado por el estado de pandemia presentado (XM, 2022)



Figura 4: Comportamiento demanda de energía en Colombia.

Fuente: (XM, 2022)

Tal como se muestra en la Figura 5, en 2021, Colombia fue el país con la tercera tasa de crecimiento más alta entre las economías de Latinoamérica, después de Perú (13,3%) y Chile (11,7%). Luego de la caída del 7% que tuvo el PIB en 2020, la cifra de crecimiento económico colombiano en 2021 fue 10,7% (UPME, 2022)

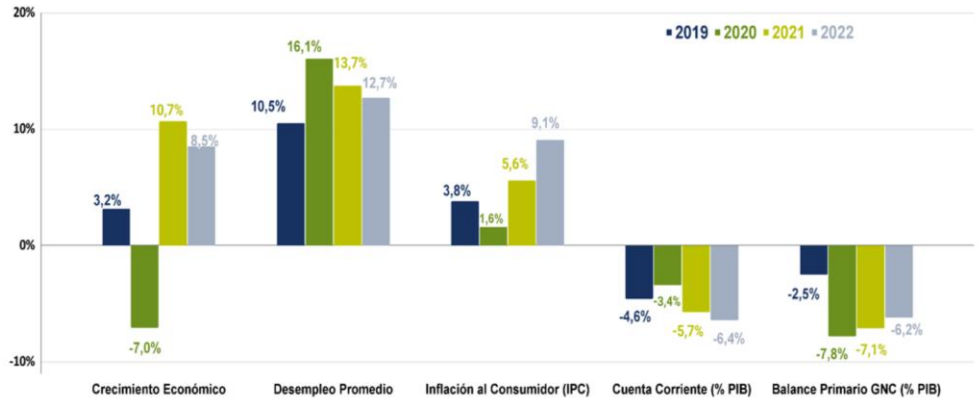


Figura 5: Evolución anual de los fundamentales macroeconómicos en Colombia.
Fuente: (UPME, 2022)

El energético en el que se observó un mayor repunte fue en los combustibles líquidos. En 2021, el consumo fue de 4.894 millones de galones (Mgal), lo que representa un aumento anual de 30% después de la caída de -19,88% de 2020. El crecimiento anual de la demanda de energía eléctrica fue del 5,24%. Este crecimiento se explica por la recuperación del mercado no regulado, que creció 9,52%, después de que, en 2020 fue el mercado que resultó más impactado por la pandemia (-6,42%) (Ver Figura 6) (UPME, 2022).

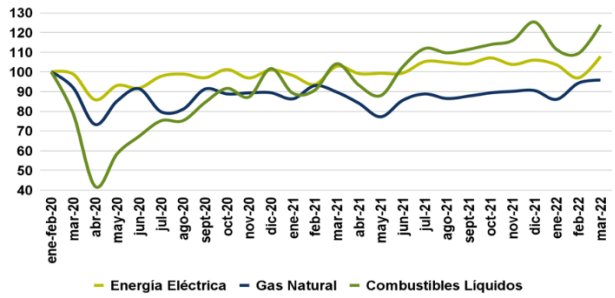


Figura 6: Comportamiento del consumo de energéticos en Colombia.
Fuente: (UPME, 2022)

2.1.3 Análisis Tecnológico

Las empresas están cada vez más enfocadas en mejorar su gestión energética y optimizar sus infraestructuras, respondiendo a la creciente necesidad de implementar soluciones que reduzcan el consumo y promuevan el ahorro de costos. En el contexto actual, marcado por la crisis climática y el aumento de los precios de la energía, resulta imperativo innovar para afrontar estos desafíos, los cuales afectan tanto al sector productivo como al consumidor final. La digitalización se presenta como una herramienta clave para mejorar la gestión energética en las organizaciones, haciendo de la integración tecnológica una inversión estratégica. No obstante, alcanzar un equilibrio entre satisfacer las necesidades energéticas y optimizar su uso es un reto. Los costos energéticos no siempre reflejan las necesidades reales, lo que puede llevar a un consumo excesivo e innecesario.

Desde hace un tiempo, con la mirada puesta en el corto y medio plazo, la eficiencia energética ocupa un espacio relevante en las agendas gubernamentales de cada vez más países. Y de forma paralela, crece la preocupación por asegurar un abastecimiento energético justo, accesible para todos y sostenible ya que existe un compromiso de reducir los gases de efecto invernadero (GEI) y de otros gases contaminantes a la atmósfera. La analítica de datos avanzada, el uso de la inteligencia artificial y el Internet de las Cosas (IoT) pueden aplicarse a innovaciones como la optimización energética a baja temperatura o la recuperación del calor, el uso de las energías renovables para disminuir los costes de la energía, entre otras.

En este sentido, la implantación de la red 5G será decisiva. Según un informe elaborado por la 5G PPP (Clari et al., 2021), englobado en el proyecto ‘Global vision, standarization & stackeholder engagement in 5G’, esta red permitiría un ahorro energético del 90%. Se estima que el incremento potencial en el tráfico de datos podría ser de hasta 1.000 veces el actual, según datos de la GSMA, por lo que la optimización del consumo energético es clave. Solo la industria de las telecomunicaciones absorbe el 2% y el 3% de la energía a nivel global.

En este marco, las conexiones necesitarán un mayor consumo de recursos, por eso la búsqueda de alternativas que planteen un ahorro energético será vital para el futuro de este sector.

Debido a que la conectividad y el desarrollo de tecnologías como IoT, robótica, computación en la nube o edge computing no paran de crecer, se estima que para 2025 haya 100.000 millones de conexiones. De ellas, 40.000 serán de dispositivos pertenecientes a la categoría de Internet de las cosas, según datos de Huawei. Todo el crecimiento de la red móvil de última generación, así como de las aplicaciones de conectividad favorecen la evolución de otras tecnologías como la telemetría. Esta aplicación abre un amplio campo de trabajo para empresas que ofrecen servicios de desarrolladores de sistemas de telemetría, biometría y domótica a medida, para entornos empresariales e industriales.

La medición a distancia ayuda a controlar magnitudes como la temperatura, vibración, presión, voltaje, altitud, velocidad, tiempo. Esto es posible gracias a la emisión de datos en tiempo real, por lo que los datos vuelven a ser fundamentales, esta vez para el ahorro en el consumo de energía (Telefónica, 2022).

2.1.4 Análisis Ecológico

El cambio climático es uno de los grandes desafíos de nuestra sociedad. Se trata de un problema mundial que necesita soluciones decisivas y urgentes, ya que el incremento de la temperatura de la Tierra a causa de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) está generando impactos económicos y medioambientales severos e irreversibles, con implicaciones sociales y políticas.

El calentamiento global provoca, entre otros efectos, condiciones climáticas más extremas, el deshielo de los glaciares y el aumento del nivel del mar. Estas consecuencias impactan tanto a las generaciones actuales como a las futuras, afectando cada vez más nuestras economías, el medio ambiente, la salud y nuestra vida diaria. La eficiencia energética se posiciona como una de las principales estrategias para mitigar el cambio climático y avanzar hacia sociedades sostenibles, complementada por el desarrollo de energías renovables y políticas de transporte más amigables con el entorno.

Esto no implica renunciar a la calidad de vida, sino obtener los mismos bienes y servicios energéticos utilizando menos recursos. Esto se logra a través de la mejora de los procesos, la cogeneración, el reciclaje, el uso de productos menos contaminantes y un consumo energético inteligente, es decir, empleando solo la energía que realmente necesitamos.

Hoy en día, pocos cuestionan que los efectos del cambio climático son una alarmante realidad tanto para el medio ambiente como para la sociedad en su conjunto. Así mismo, es ampliamente aceptada la necesidad de adoptar medidas que impulsen una transición hacia una economía de bajas emisiones de carbono, aumentando el uso de energías renovables y promoviendo el ahorro y la eficiencia energética. En el contexto actual de Colombia, la eficiencia energética también se presenta como una oportunidad clave para la recuperación económica. La pandemia de COVID-19 tuvo un fuerte impacto en la economía del país, con una caída del PIB del 6.8% en 2020, la más baja registrada en la historia. En este escenario, fomentar y promover la eficiencia energética, junto con inversiones relacionadas, puede contribuir a la reactivación de ciertos sectores sin perder los avances ya logrados en términos de reducción de la intensidad energética. La Ley 697 de 2001 y la Ley 1715 de 2014 ofrecen una serie de incentivos tributarios para aquellos que lleven a cabo proyectos de eficiencia energética (Para más detalle ver Análisis Legal). Estas leyes tienen como objetivo facilitar inversiones en equipos y servicios que, debido a sus costos o a la falta de información, podrían no realizarse, pero que son cruciales para alcanzar tres metas fundamentales: 1) garantizar el suministro energético, 2) mejorar la competitividad de la economía nacional y 3) reducir el impacto ambiental asociado al consumo de energía.

La propuesta de la Visión 2030 busca reducir la brecha tecnológica en el uso de la energía mediante la implementación de medidas, dispositivos y equipos costo-eficientes, con el fin de impulsar un cambio significativo en el sector. A través del Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética (PAI-PROURE), se pretende que la reconversión tecnológica del sector energético se convierta en un pilar fundamental de su transformación, contribuyendo así al desarrollo sostenible de Colombia. Teniendo en cuenta que el país se ha comprometido con una idea de progreso sostenible (DNP, 2018), las intervenciones de política pública deben enmarcarse en el crecimiento económico, el

mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos y grupos más vulnerables y la protección al medio ambiente. En este contexto, la visión del PAI PROURE apunta a que con las medidas costo-eficiente de eficiencia energética propuestas en el documento, se contribuya con los siguientes objetivos de desarrollo sostenible (MME & UPME, 2022):

2.1.4.1 Objetivo 7. Energía asequible y no contaminante

La apuesta del PAIPROURE contempla medidas para la sustitución de combustibles fósiles por fuentes de energía limpia y de bajas emisiones de GEI y la adopción de tecnologías que optimizar el uso de la energía, con lo que se busca que la energía tenga de forma simultánea un bajo costo y un impacto ambiental reducido.



Figura 7: ODS 7 "Energía asequible y no contaminante".
Fuente: (MME & UPME, 2022)

2.1.4.2 Objetivo 11. Ciudades y comunidades sostenibles

La visión del PAIPROURE contempla mejoras en eficiencia energética que habilitan mejoras en la calidad de vida de los ciudadanos en el presente, sin poner en riesgo el abastecimiento energético para generaciones futuras.



Figura 8: ODS 11 " Ciudades y comunidades sostenibles".
Fuente: (MME & UPME, 2022)

2.1.4.3 Objetivo 12. Producción y consumo responsables

La visión del PAIPROURE abarca además del uso de fuentes energéticas renovables, la mejora de la eficiencia energética y el empoderamiento de los usuarios a través de la información, lo que permitiría optimizar las decisiones de consumo e internalizar su impacto sobre el medio ambiente.



Figura 9: ODS 12 "Producción y consumo responsables".
Fuente: (MME & UPME, 2022)

2.1.4.4 Objetivo 13. Acción por el clima

La visión del PAI-PROURE es que con las medidas de eficiencia energética se contribuya a reducir la emisión de GEI y con ello, limitar el aumento de la temperatura global.



Figura 10: ODS 13 "Acción por el clima".
Fuente: (MME & UPME, 2022)

2.1.5 Análisis Legal

A pesar de los claros beneficios que la eficiencia energética puede aportar para alcanzar los objetivos de política pública, las inversiones en este tipo de proyectos enfrentan diversas fallas de mercado que limitan su implementación. Por ello, es fundamental la intervención del Estado. Dada la variedad de obstáculos, la promoción de la eficiencia energética requiere una combinación de diferentes acciones por parte del sector público, tales como la regulación y definición de estándares, la creación de incentivos fiscales, la

difusión de información clave y la implementación de mecanismos que permitan valorar externalidades, como la contaminación, entre otros.

Los pilares que se enuncian a continuación corresponden a las áreas estratégicas de acción, que resumen la visión propuesta a 2030. Los pilares del PAI-PROURE se alinean con los propósitos perseguidos en la Ley 697 de 2001 y la Ley 1715 de 2014 y concuerdan con los planteados en el PEN 2020-2050.

En la Ley 697 de 2001 se crea el Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía PROURE y se propone la creación de la estructura legal, técnica, económica y financiera necesaria para lograr el desarrollo de proyectos concretos de eficiencia energética que sean económica y ambientalmente viables. De otro lado, la Ley 1715 de 2014 establece el Plan de Acción Indicativo del Programa de Uso Racional de Energía (PAI-PROURE) como la guía para la concreción de las actuaciones del sector público en materia de eficiencia energética, el establecimiento de plazos para la ejecución de estas, la atribución de responsabilidades y la identificación de las diferentes formas de financiación y necesidades presupuestarias (Ministerio de Minas y Energía, 2022)

2.1.5.1 Plan de acción PROURE y su propósito

El PAI-PROURE es un documento en el que se determinan metas indicativas de eficiencia energética que se estiman a partir del potencial de aplicación de medidas y se identifican cuáles de ellas son costo-efectivas. La costo-efectividad de las medidas incluidas en el PROURE permite identificar en cuáles de ellas se justifica una financiación indirecta de los contribuyentes colombianos y por ello, deberían acceder a los beneficios tributarios otorgados en la ley. En dicho análisis, además de los beneficios en términos energéticos, se contemplan los asociados a la provisión de bienes públicos tales como mejoras en confiabilidad, reducción de riesgos sistémicos, diversificación de la matriz, seguridad energética y beneficios ambientales.

Por otro lado, se presenta la resolución CREG 030 del 26 de febrero de 2018 “Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el SIN”. Adicionalmente Colombia cuenta con tres reglamentos emitidos por parte del Ministerio de Minas y Energía; RETIE, RETILAP y RETIQ que regulan el sector

eléctrico en el país y que están encaminados a asegurar la se la seguridad, la eficiencia y la eficacia de las instalaciones y productos del sector energético (MME & UPME, 2022)

3. MARCO LÓGICO

Con el fin de identificar las causas que originan la problemática que será abordada en este proyecto y, posteriormente, planificarlo de manera coherente y orientada a cumplir sus objetivos, se ha optado por utilizar la metodología del "Marco Lógico". Esta herramienta facilita la conceptualización, el diseño, la ejecución y la evaluación de proyectos, enfocándose en una gestión por objetivos, beneficiando a los grupos destinatarios y fomentando la participación y comunicación entre las partes interesadas. El Marco Lógico es aplicable en todas las fases de un proyecto, desde la identificación y evaluación de actividades, hasta la planificación sistemática del diseño, la valoración, implementación, así como el monitoreo, revisión y evaluación del progreso y desempeño.

La aplicación de esta metodología se divide en dos partes. La primera parte se centra en la descripción del problema y el uso de herramientas para su análisis, tales como: Situación Problemática, Análisis de Involucrados, Árbol de Problemas, Árbol de Objetivos, Identificación y Análisis de Alternativas para seleccionar la solución óptima. La segunda parte consiste en la elaboración de la Matriz Lógica, que incluye la estructura analítica del proyecto, resumen narrativo de objetivos, indicadores, medios de verificación, supuestos y evaluación intermedia (Ortegón et al., n.d.)

3.1 ANÁLISIS DE PARTES INTERESADAS

A continuación, se presenta el análisis de partes interesadas, identificando claramente los potenciales grupos de importancia, sus intereses, los problemas percibidos y eventuales consecuencias de no gestionarse debidamente

Análisis de partes interesadas			
Grupos	**Intereses**	**Problemas percibidos**	**Consecuencias**

Clientes	Producto de calidad	Productos defectuosos, no conformes o de baja calidad	Culminación de contrato
			Aplicación de pólizas
			Solicitudes de garantías
			Recepción de quejas y reclamos que ocasionan costos adicionales por concepto de materiales, reprocesos en fábrica y/o en el sitio de uso final, servicios postventa cubiertos (No pagos) y tiempos extra del personal requerido para la atención.
	Cumplimiento de estándares requeridos y mandatorios	Productos no funcionales y/o que no cumplen con los parámetros requeridos	Culminación de contratos, aplicación de pólizas.
			Solicitudes de garantías y colocación de quejas y reclamos que ocasionan costos adicionales por material, reprocesos en fábrico y/o en sitio, servicios postventa cubiertos por las garantías y tiempos extra del personal técnico.
			Consumo excesivo de energía
			Impacto ambiental negativo
	Economía del producto	Los costos de los productos requeridos suelen ser más elevados con respecto a los competidores	Perdidas de cliente
			Mala reputación en el sector
	Tiempo de atención del requerimiento	Incumplimiento de los tiempos pactados	Culminación de contratos
			Aplicación de pólizas
			Pérdida de clientes
			Mala reputación en el mercado
			Consumo excesivo de energía
			Impacto ambiental negativo
Entes reguladores: MME, UPME, CREG	Contribución a la política de PAI - PROURE	Ausencia de medidas tendientes a garantizar la eficiencia energética	-Consumo excesivo de energía -Impacto ambiental negativo -Consecuencias legales
		Obsolescencia en las tecnologías de equipos ineficientes	
		Falta de cultura de eficiencia energética por desconocimiento del concepto de gestión integral	

Personal de la compañía dedicadas a la manufactura de productos eléctricos de Baja Tensión	Mejora de sus conocimientos y competencias	Ausencia de conocimiento y capacidad para ejecución de actividades. Materialización de riesgos laborales	-Productos no conformes. -Reprocesos -Desperdicios de material -Tiempos muertos -Retraso en la producción -Cuellos de botella en la producción -Inconformidad de colaboradores y en consecuencia Alto índice de -rotación de personal (Fuga de habilidades y conocimientos). -Deterioro de la salud por malas condiciones de las instalaciones eléctricas

Tabla 1: Análisis de partes interesadas

Fuente: Elaboración propia

3.2 SITUACIÓN PROBLÉMICA

El constante crecimiento del mercado no regulado, impulsado principalmente por el aumento de la actividad industrial y la competencia en el sector manufacturero de Colombia, ha generado una demanda energética en continuo ascenso. Esta situación se ve agravada por la ausencia o deficiencia de sistemas de gestión de energía adecuados, lo que, sumado a una limitada cultura de uso racional de la energía e infraestructuras obsoletas, ha resultado en altos niveles de consumo energético difíciles de satisfacer. La falta de una gestión eficiente no solo incrementa el desperdicio de recursos, sino que también contribuye a los elevados costos asociados al consumo energético. Esta problemática constituye uno de los mayores desafíos del sector manufacturero, donde el uso eficiente de los recursos ha adquirido gran relevancia, impulsado por tres factores clave en el mercado global: la competitividad, la productividad de las organizaciones y el impacto ambiental derivado del uso excesivo de energía.

En el ámbito de la competitividad, el enfoque en la reducción de costos se ha convertido en una de las principales ventajas que permiten a una compañía del sector eléctrico posicionarse como líder en el mercado. En cuanto al impacto ambiental, ha surgido una tendencia global que promueve la eficiencia en el uso de recursos en las actividades humanas y empresariales. Se estima que las ineficiencias energéticas generan pérdidas anuales para la industria colombiana de entre US$6.600 y US$11.000 millones (Rojas, 2022). Según el Plan Energético Nacional (PEN) 2020-2050, la eficiencia energética en

Colombia es del 31%, lo que implica que, en promedio, de cada 100 unidades de energía utilizadas, se pierden 69 y solo 31 se aprovechan de manera efectiva. Por lo tanto, mejorar la eficiencia energética no solo es un objetivo clave para generar ahorros significativos, sino también una de las estrategias más impactantes para reducir la huella de carbono del país. (Ministerio de Minas y Energía, 2022)

En este apartado se analiza a partir de la experiencia, las causas potenciales a las que se enfrentan las industrias de la manufactura en Colombia y que dan paso al principal problema relacionado con elevados niveles de consumo energético. Estas consecuencias pueden ser devastadoras para cualquier industria que aspire a ser competitiva en un mercado tan exigente. En la Figura 11 se ilustra el problema a abordar en este proyecto mediante el uso del Árbol de Problemas.

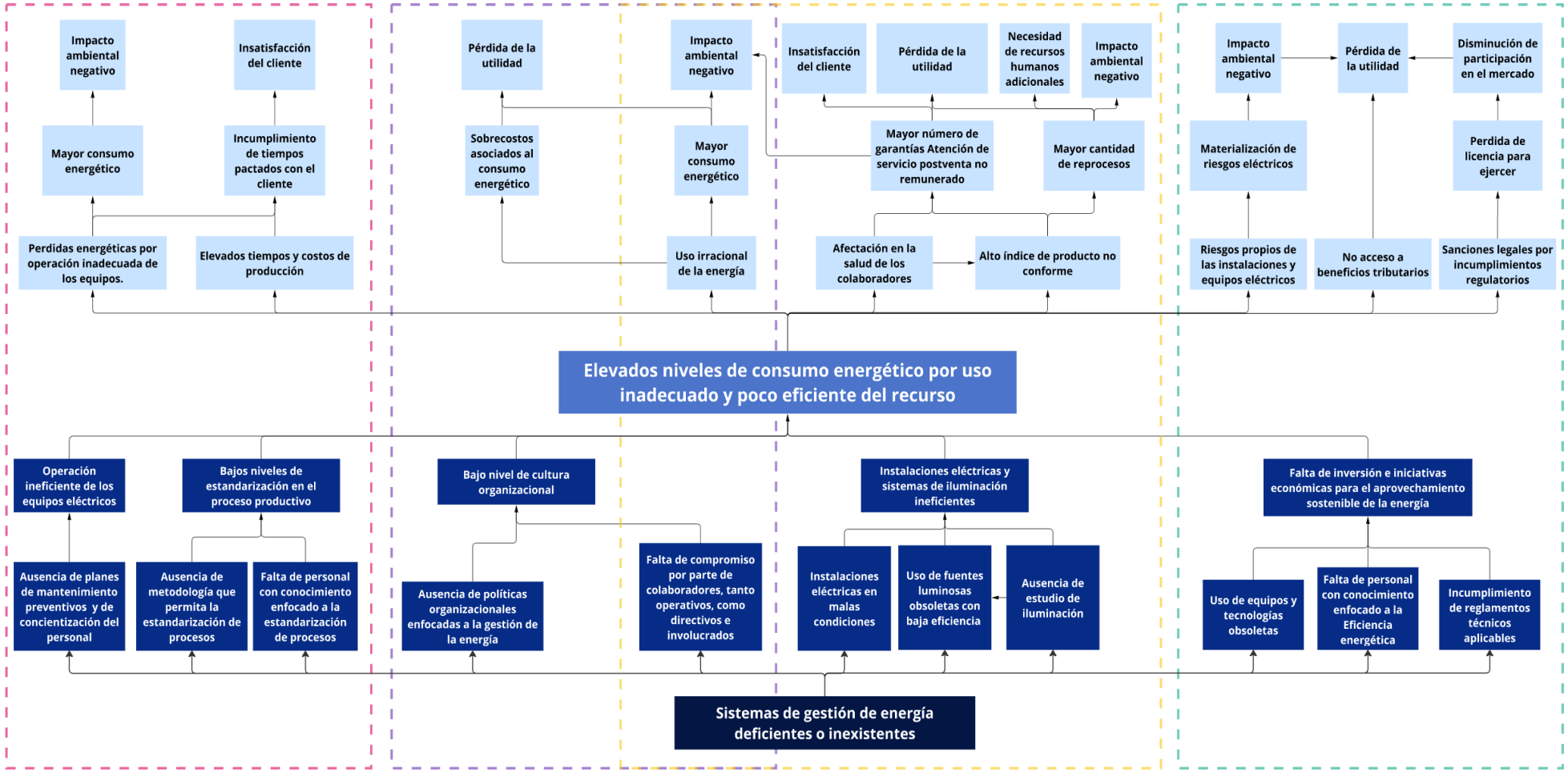


Figura 11: Árbol de problemas

Fuente: Elaboración propia

3.3 POTENCIALES ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Para abordar la problemática energética mencionada, se proponen diversas alternativas enfocadas en reducir el consumo energético en las industrias manufactureras de Colombia. Estas soluciones buscan optimizar la gestión de los recursos y prevenir posibles problemas de racionamiento. A continuación, se presentan las posibles alternativas que podrían ofrecer una solución al desafío energético:

3.3.1 Programa públicos de mejoramiento de hábitos de consumo:

Esta alternativa implica la intervención del Estado mediante la creación de políticas que impacten directamente el consumo energético en las industrias del sector eléctrico. A través de regulaciones e incentivos, estas políticas buscarían fomentar una gestión más eficiente de los recursos energéticos por parte de la población y las empresas, promoviendo prácticas sostenibles y responsables en el uso de la energía.

3.3.2 Automatización de infraestructura e instalaciones de los productores:

Esta solución podría ser la más efectiva, ya que permite un control directo sobre las principales fuentes de consumo energético, sin depender de que los usuarios garanticen la eficiencia en los procesos. Sin embargo, es una alternativa demasiado costosa y no considera el factor humano, que es esencial para lograr una gestión integral de la energía y promover un cambio sostenible en el tiempo.

3.3.3 Generación energética a través de fuentes renovables para consumo propio (Autogeneración)

El enfoque de esta alternativa radica en que las compañías industriales generen la energía que consumen y, en algunos casos, incluso comercialicen los excedentes en el mercado energético. Aunque esta solución podría ser la más rentable a largo plazo, su implementación requiere un importante músculo financiero, lo que dificulta su adopción por parte de pequeñas y medianas empresas (PYMES). Además, gran cantidad de

principales productores del sector industrial están ubicados en el interior del país, donde las condiciones climáticas, de las que dependen estas soluciones, son muy variables. Asimismo, se necesita una gran extensión de terreno, lo que reduce la viabilidad de esta alternativa en muchas regiones.

3.3.4 Implementación de sistema de gestión de eficiencia energética

La implementación de metodologías sistemáticas y eficientes de gestión energética, como la establecida en la norma ISO 50001, permite alcanzar reducciones significativas en el consumo sin depender excesivamente de factores externos. Estas mejoras pueden lograrse mediante inversiones de capital graduales, lo que facilita una mejora continua y progresiva de los procesos. Además, los beneficios financieros se verán reflejados directamente en la reducción de los costos asociados al consumo de recursos energéticos, generando una retribución monetaria sostenible a largo plazo.

3.3.5 Implementación de Lean Manufacturing

La metodología Lean aplicada a la gestión energética se basa en los principios de Lean Manufacturing y Lean Six Sigma, permitiendo mantener un servicio de alta calidad y aplicar las mejores prácticas en la gestión de empresas competitivas y ágiles a través de la reducción de desperdicios. Uno de sus enfoques principales es el desarrollo del talento humano, considerado la mejor inversión de una organización. Las personas aportan su creatividad e ideas en el diseño y mejora de las estrategias para alcanzar eficiencias energéticas en la industria, identificando formas en las que pueden contribuir a la planificación, implementación y operación de la gestión de la energía.

Con el fin de determinar la mejor alternativa de solución para abordar el problema objeto de este proyecto, se presenta la matriz de comparación de alternativas de solución. En ella se comparan las principales ventajas, desventajas y viabilidad de cada una de las alternativas propuestas, considerando aspectos como el costo, la duración de la implementación y la efectividad de acuerdo con los resultados obtenidos posterior a la ejecución de encuestas realizadas a varios actores del sector. A través de la cuantificación de las variables relevantes de acuerdo con la ponderación establecida en la Tabla 2, se busca facilitar la selección de la alternativa más adecuada.

Criterios de calificación					
Costo [$]	**Calificación**	**Duración de la implementación [tiempo]**	**Calificación**	**Efectividad**	**Calificación**
Bajo	3	Prolongada	3	Alto	3
Medio / Variable	2	Media	2	Media	2
Alto	1	Corta	1	Bajo	1

Tabla 2: Criterios de evaluación de variables

Fuente: Elaboración propia

Estrategia	Ventajas	Desventajas	Costo	Puntaje	Duración de la implementación	Puntaje	Efectividad	Puntaje	Total
1. Programa públicos de mejoramiento de hábitos de consumo	La definición de políticas permitiría a través de incentivos disminuir el consumo de una forma más acelerada y eficaz. Sería de fácil acceso para cualquier industria independientemente de su tamaño.	Es el gobierno quien debe definir las políticas de eficiencia energética cuya implementación suele ser muy demorada.	**Bajo**	**3**	**Prolongada**	**1**	**Media**	**2**	**6**
			para los usuarios finales es asequible acceder a estos beneficios.		El estado define políticas de eficiencia energética a muy largo plazo (10 años), por lo que no genera el impacto que debiera sobre la población interesada		Al permitir el acceso a estos programas a través de políticas públicas incentiva a la población, pero al no ser de obligatorio cumplimiento, se descarta dicho esfuerzo		
2. Automatización de infraestructura e instalaciones de los productores.	Contribuye a diversificar mejor el consumo de energía eléctrica con base a las necesidades reales de las industrias.	El costo de la adquisición de las tecnologías es muy elevado. Requiere de personal especializado para implementación y control. Cualquier falla tecnológica puede resultar en pérdidas considerables.	**Alto**	**1**	**Prolongada**	**1**	**Alta**	**3**	**5**
			Debido a la robustes en el sistema tecnológico requerido.		Requiere de estudios especializados, compra de equipos especializados, controles constantes y pruebas funcionales.		Permite asegurar el consumo justo sin dependencia de un operario.		
3. Generación energética a través de fuentes renovables para consumo propio (Autogeneración).	Contribuye a disminución de los gases de efecto invernadero, así como a la autogeneración de energía.	Requiere de grandes extensiones de terreno y su implementación es demasiado costosa.	**Alto**	**1**	**Prolongada**	**1**	**Alta**	**3**	**5**
			Debido a la robustez en el sistema tecnológico requerido**.**		El desarrollo de estos proyectos puede representar largos tiempos de desarrollo e implementación.		Permite la diversificación de la matriz energética del país, así mismo aumenta la confiabilidad en el suministro de energía.		

4. Sistema de gestión de eficiencia energética convencional.	Permite determinar la mejor opción que podría ser implementada de acuerdo con los requerimientos específicos de las personas, procesos y necesidades de la industria. Esta alternativa permite disminuir el consumo y aumentar la eficiencia energética en poco tiempo y con costos graduales dependiendo de la capacidad económica del propietario.	Dependiendo de la magnitud de la industria, su implementación puede ser demorada, y los resultados se reflejan a mediano y largo plazo.	**Variable**	**2**	**Media**	**2**	**Alta**	**3**	**7**
			La implementación de la metodología se realiza acorde a los requerimientos del cliente. La robustez del sistema depende de la inversión y se puede realizar gradualmente.		**El** proceso de desarrollo de los mecanismos y diseño de los procesos específicos se realizan de acuerdo con las características de la industria y requerimiento del cliente, por lo que suelen ser muy ágiles.		**Alta**, la implementación de esta metodología puede generar ahorros en energía sustanciales por concepto de reducción de consumo eléctrico y por ende costos de este.		
5. Metodología de manufactura esbelta basada en la reducción de desperdicios (Enfoque LEAN).	Permite identificar y eliminar los desperdicios propios de las actividades de la manufactura, promoviendo la cultura organizacional y el uso eficiente de los recursos.	El resultado depende de un alto grado de compromiso de los integrantes de la compañía, por lo que se requiere un seguimiento continuo y periódico.	**Medio**	**2**	**Corta**	**3**	**Media**	**2**	**7**
			Para la implementación de la metodología se requiere asumir costos considerables en formación del personal y estudios detallados de desperdicios energéticos.		La implementación de la metodología LEAN suele ser muy ágil y los resultados pueden evidenciarse a muy corto plazo.		La efectividad de la implementación de la metodología depende del compromiso del personal, y la rotación puede impactar sustancialmente en los resultados obtenidos.		

Tabla 3: Matriz de comparación de alternativas de solución

Fuente: Elaboración propia

Tras el análisis de las alternativas, se concluye que dos opciones destacan como las más adecuadas. La primera, la alternativa No. 4, corresponde a un “sistema de gestión de eficiencia energética convencional”, que ofrece una alta efectividad, aunque con costos significativos y un proceso de implementación más largo. La segunda, la alternativa No. 5, basada en la “metodología Lean de manufactura esbelta enfocada en la reducción de desperdicios”, si bien también conlleva costos considerables, se caracteriza por una implementación mucho más ágil. No obstante, su éxito depende en gran medida del compromiso del personal, lo que podría influir en los resultados finales

Dado que ambas alternativas han obtenido la misma ponderación, se ha decidido integrarlas mediante un enfoque investigativo que permita desarrollar una metodología innovadora, con el objetivo de maximizar los beneficios y aprovechar las fortalezas de ambas opciones. A continuación, se presenta la ruta de investigación y la hipótesis, las cuales servirán como base para definir los objetivos específicos de este proyecto.

3.4 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Existe una relación entre la estructura del sistema de gestión de energía establecido por la norma ISO 50001 y la filosofía Lean Manufacturing, que posibilite su integración?

3.4.1 Hipótesis

Existe una relación directa entre el sistema de gestión de energía basado en la norma ISO 50001 y la filosofía Lean Manufacturing, que posibilita su integración para optimizar el uso de los recursos energéticos en entornos industriales.

3.5 RUTA DE INVESTIGACIÓN Y OBJETIVOS

3.5.1 Ruta de investigación

La ruta de investigación de este proyecto se centra en la integración de un sistema de gestión de energía basado en la norma ISO 50001 con la filosofía Lean Manufacturing. Este enfoque busca aprovechar las fortalezas de ambas metodologías para desarrollar una estrategia que no solo optimice la eficiencia energética, sino que también fomente una cultura de mejora continua en las organizaciones. A través de un análisis exhaustivo de las prácticas actuales y la identificación de sinergias, se establecerá un marco que permita implementar soluciones efectivas y sostenibles. La ruta de investigación contempla varias etapas, desde la revisión de literatura y el análisis de casos hasta la validación de resultados, asegurando un enfoque integral que contribuya al desarrollo sostenible de la industria manufacturera en Colombia. En la Figura 12 se presenta la ruta de investigación planteada para el desarrollo del proyecto.



Figura 12: Ruta de investigación

Fuente: Elaboración propia

3.5.2 Objetivos

La formulación de los objetivos de este proyecto se ha llevado a cabo en función de la ruta de investigación propuesta, que detalla cada una de las etapas necesarias para garantizar una ejecución exitosa (Ver Figura 13).

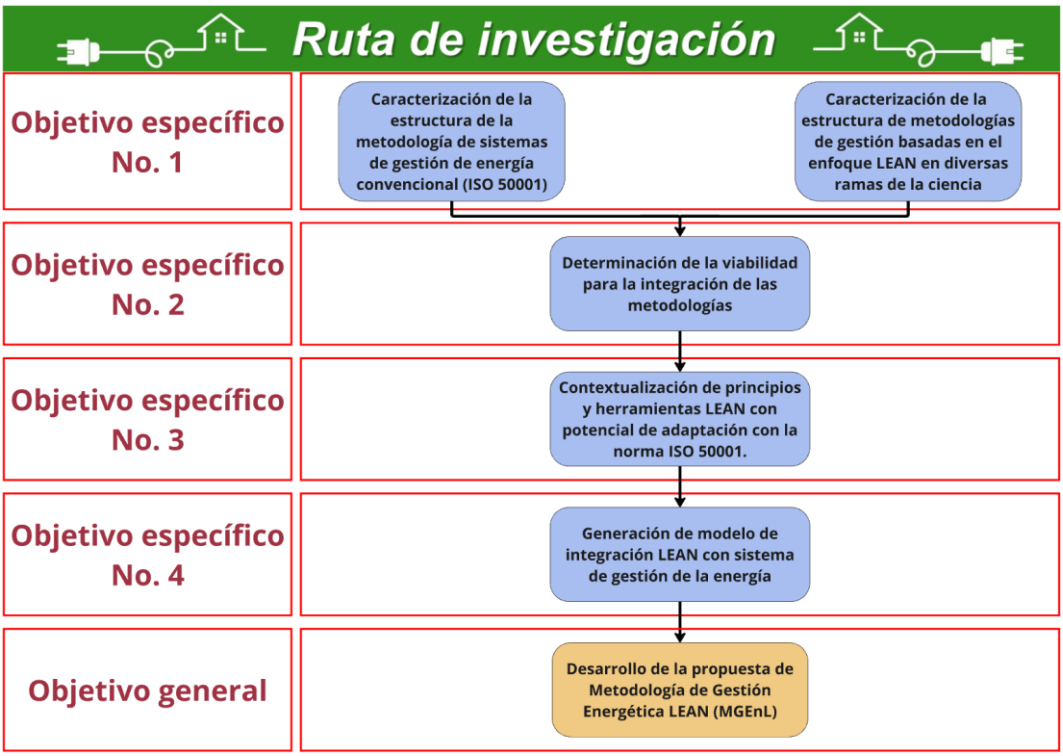


Figura 13: Identificación de objetivos de acuerdo con la ruta de investigación del proyecto

Fuente: Elaboración propia

3.5.2.1 Objetivo general

Desarrollar una metodología integrada de Gestión Energética LEAN (MGEnL) que combine los requisitos de la norma ISO 50001 con los principios y herramientas de Lean Manufacturing, orientada a optimizar la eficiencia energética en las industrias de la manufactura en Colombia.

3.5.2.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar la estructura de la metodología de gestión de la energía basada en la norma ISO 50001 y el sistema Lean Manufacturing (LMS), identificando sus principios, elementos clave y enfoques complementarios.
2. Determinar la viabilidad de la integración teórica entre los sistemas de gestión de energía basados en la norma ISO 50001 y las herramientas Lean Manufacturing, mediante una investigación académica apoyada en el análisis bibliométrico.

3. Contextualizar los principios y herramientas de Lean Manufacturing con potencial de integración en el sistema de gestión de la energía basado en la norma ISO 50001, adaptándolos al contexto energético industrial.
4. Proponer un modelo de integración entre Lean Manufacturing y el sistema de gestión de energía convencional (ISO 50001), orientado a maximizar la eficiencia energética en entornos industriales.

4. CARACTERIZACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS (LEAN MANUFACTURING E ISO 50001)

En este capítulo se presentan los aspectos generales de las dos metodologías seleccionadas, según el análisis de alternativas (ver sección 3.3) para asegurar una gestión energética eficiente. Se analizan sus ventajas y desventajas, así como la estructura fundamental de cada metodología mediante una revisión exhaustiva de la literatura y el desarrollo consistente de esta investigación. Este análisis tiene como objetivo sustentar la hipótesis planteada para el desarrollo del proyecto (Ver sección 3.4.1) identificando las sinergias y elementos complementarios entre ambos enfoques que sustentan su potencial integración en una metodología unificada y más efectiva.

4.1 GENERALIDADES DE LAS METODOLOGÍAS DE GESTIÓN DE ENERGÍA

Un Sistema de Gestión de la Energía (SGEn) se puede definir como una metodología orientada a lograr la mejora continua y sostenida del desempeño energético en las organizaciones de manera costo-efectiva. La implementación de un SGEn no debe considerarse como un fin en sí mismo, sino como un medio para obtener resultados concretos en el sistema energético. La efectividad de un SGEn dependerá, en gran medida, del compromiso y la participación activa de todos los actores de la organización en la gestión del uso y los costos de la energía, así como de su disposición para realizar los ajustes necesarios en las operaciones diarias, con el fin de facilitar mejoras y reducir costos (CONUEE, 2014).

Una manera simplificada de definir SGEn según la organización internacional para la estandarización (ISO) es: "Conjunto de elementos de una organización interrelacionados o que interactúan entre sí para establecer políticas energéticas, objetivos, metas energéticas, planes de acción y procesos para el logro de dichos objetivos y metas energéticas (UNE, 2018)."

Se puede observar que la definición de un sistema de gestión de energía puede variar según el autor u organización, dependiendo del modelo y la metodología implementada. Por ello, se presentarán diferentes conceptos con el objetivo de brindar mayor claridad sobre el tema.

4.1.1 Metodologías objeto de integración, ventajas y desventajas en un sistema de gestión de energía:

A continuación, se presenta una descripción de las metodologías analizadas, junto con las ventajas y desventajas identificadas en el análisis. Esta caracterización, sugerida por el autor, busca mostrar que su interpretación puede variar según el punto de vista del lector y el contexto en el que se aplique. No obstante, los criterios utilizados pretenden evaluar las metodologías en función de su viabilidad para ser implementadas. Además, se exponen de manera independiente las herramientas y metodologías, destacando sus ventajas y desventajas cuando se aplican en un sistema de gestión de energía en edificaciones.

4.1.1.1 Norma ISO-50001:

Esta norma ISO 50001 – Sistemas de gestión de energía fue Publicada en junio de 2011, y corresponde a un estándar internacional que proporciona un marco para la implementación de un SGEn con el fin de mejorar continuamente el rendimiento energético (UNE, 2018). Colombia adoptó el estándar a finales de este mismo año a través de la NTC-ISO 50001 y para el año 2014 cuatro empresas contaban con dicha certificación (Forbes Álvarez, 2014)

Dicha norma ha sido diseñada para poder ser implementada en cualquier organización independientemente de su tamaño, sector y ubicación geográfica. La metodología se basa en el principio "medir para identificar, e identificar para mejorar" (Torres, 2019), el

sistema ha sido modelado a partir de la estructura de alto nivel que manejan estándares tales como la ISO 9001:2015 (sistemas de gestión de la calidad), ISO 14001 (sistemas de gestión ambiental) e ISO 45001 (sistemas de gestión de la salud y seguridad ocupacional, entre otras, lo que permite realizar su integración dentro de un único sistema (Forbes Álvarez, 2014). El sistema de gestión permite a las administraciones de las organizaciones ahorrar energía, haciendo que cualquier inversión en esta línea tenga un retorno económico. No se especifican metas cuantitativas, sino que cada organización elige las metas que desea cumplir, y posteriormente realiza un plan de acción para alcanzar estas metas. Con este enfoque estructurado, una organización tiene más posibilidades de observar beneficios financieros tangibles (Torres, 2019). La estructura de alto nivel, así como el ciclo de mejora continua que adopta la norma ISO 50001 será la base para lograr la integración de la metodología Lean con los sistemas de gestión de eficiencia convencional.

- **Norma ISO 50001 – Ventajas** (Torres, 2019)**:**

  Entre las ventajas que se obtienen al implantar la Norma ISO 50001 se tiene:

  - Reducción del consumo energético y generación de ahorros a corto, mediano y largo plazo, o bien, el logro de una mayor producción con el mismo nivel de consumo de energía.
  - Conciencia y control sobre el uso de la energía al aplicar correctamente la política energética de la empresa.
  - Planificación y ejecución de medidas de ahorro energético en los procesos que consumen energía dentro de la organización.
  - Compromiso con un consumo energético responsable y sostenible.
  - Beneficios económicos derivados del ahorro de energía, que se generan desde el momento en que se implementa correctamente el sistema.
  - Proporciona un enfoque paso a paso sobre qué acciones tomar, siendo adaptable a cualquier tipo de organización, empresa o institución.
  - Es aplicable en cualquier organización, sin importar su tamaño, sector o ubicación geográfica.
- **Norma ISO 50001 – Desventajas** (Torres, 2019)**:**

Algunas de las principales desventajas de implementar la Norma ISO 50001 son:

- Requiere un esfuerzo considerable en términos de formación, reorganización y adaptación de la cultura organizacional. Por lo tanto;
- La implementación de la ISO 50001 puede ser un proceso prolongado, ya que requiere tiempo para establecer y ajustar los sistemas de gestión energética, lo cual puede retrasar la obtención de beneficios a corto plazo.
- Demanda una planificación rigurosa en el control de los procesos y en la toma de decisiones para su implementación.
- La implementación de la norma ISO 50001 puede no ser viable si la organización no cuenta con los recursos humanos y materiales necesarios. Sin personal debidamente capacitado en gestión energética, presupuesto suficiente para las inversiones requeridas, y la infraestructura tecnológica adecuada, las empresas pueden encontrar enormes dificultades para adoptar e integrar por completo los requisitos de la norma de manera sostenible.
- Como una norma genérica aplicable a diversos sectores, la ISO 50001 no siempre proporciona pautas claras ni metodologías específicas, lo que puede dificultar su implementación exitosa. Al carecer de lineamientos detallados para cada industria, las organizaciones pueden encontrar desafiante adaptar los requisitos de la norma a sus procesos y necesidades particulares.

4.1.1.2 LEAN Manufacturing:

Lean manufacturing (o "producción ajustada" en castellano) es una filosofía de gestión enfocada en optimizar los sistemas de fabricación mediante la eliminación sistemática del desperdicio. Para efectos del desarrollo del presente proyecto, será considerado como desperdicio cualquier actividad que consume recursos, pero no agrega valor al producto desde la perspectiva del cliente.

Este sistema, también conocido como Toyota Production System (TPS), surgió en Japón y fue significativamente influenciado por los principios de gestión de calidad de William

Edwards Deming. Representa un conjunto integrado de prácticas y herramientas que revolucionaron la producción industrial.

La terminología del Lean manufacturing incluye diversos términos japoneses que, al igual que palabras provenientes de la cultura japonesa (zen, kárate, samurai), se han incorporado al vocabulario técnico internacional. Esta adopción de términos japoneses refleja la influencia global que las técnicas de producción niponas han tenido en la industria manufacturera mundial (Rajadell & Sánchez, 2010).

Lean Production, también conocido como Sistema de Producción Toyota, es una filosofía que busca lograr más con menos recursos: menor tiempo, espacio, esfuerzo humano, maquinaria y materiales, mientras se satisfacen las necesidades específicas de los clientes.

El término "Lean" ganó popularidad mundial gracias a dos obras fundamentales:

- "The Machine That Changed the World" (La máquina que cambió el mundo) de James Womack, Daniel Jones y Daniel Roos, publicado en 1990
- "Lean Thinking" (Pensamiento Lean) de James Womack y Daniel Jones, publicado en 1996

Si bien los principios Lean tienen sus raíces en la manufactura, su aplicación ha demostrado ser universal. El verdadero desafío radica en traducir, adaptar e implementar estos principios de manera efectiva según el contexto y las necesidades específicas de cada organización (Pascal, 2015). Bajo esta premisa, el presente proyecto busca integrar estratégicamente las herramientas Lean con un sistema de gestión energética convencional, potenciando así los beneficios y la eficiencia en el uso de recursos energéticos de las organizaciones manufactureras.

- **Lean Manufacturing – Ventajas:**
  Algunas de las principales ventajas que podría representar la implementación de Lean con un enfoque en la gestión del recurso energético son:

- **Reducción del desperdicio energético:** Al identificar y minimizar actividades que no agregan valor, las herramientas Lean ayudan a reducir el consumo innecesario de energía en los procesos productivos.
- **Mejora en la eficiencia operativa:** Las técnicas Lean, como el kaizen o la mejora continua, permiten optimizar el uso de recursos energéticos, logrando una operación más eficiente y con menor consumo.
- **Disminución de costos:** Al reducir el desperdicio y optimizar los procesos, se logra una disminución en los costos energéticos, lo que beneficia la rentabilidad y la sostenibilidad del negocio.
- **Establecimiento de una cultura de mejora continua:** Lean fomenta una cultura de mejora continua, lo cual facilita la identificación constante de oportunidades para optimizar el uso de energía y mejorar el desempeño energético.
- **Reducción de emisiones y menor impacto ambiental:** Al mejorar la eficiencia energética, se reduce la huella de carbono y se contribuye a la sostenibilidad ambiental, alineándose con objetivos de responsabilidad corporativa y normativas ambientales.
- **Optimización en el flujo de procesos:** Herramientas como el Value Stream Mapping permiten identificar cuellos de botella y áreas de alto consumo energético en los procesos, posibilitando una distribución más efectiva del uso de energía.
- **Mayor involucramiento del personal:** Lean fomenta la participación activa de los empleados en la mejora de los procesos, incluyendo la optimización del uso de energía, lo que genera mayor compromiso y responsabilidad en la gestión energética.
- **Facilidad para la implementación de indicadores de desempeño:** Herramientas Lean como los tableros visuales y los indicadores de desempeño permiten monitorear y evaluar el uso de energía en tiempo real, facilitando ajustes oportunos y un control más preciso.
- **Flexibilidad para adaptarse a cambios tecnológicos y de mercado:** La integración de Lean permite que el sistema de gestión de energía sea adaptable, lo que ayuda a la organización a responder con agilidad

a nuevas tecnologías o regulaciones relacionadas con la eficiencia energética.

La combinación de Lean con un SGE podría no solo mejorar el rendimiento energético, sino que también generar una ventaja competitiva en términos de sostenibilidad y reducción de costos.

- **Lean Manufacturing – Desventajas:**
  Algunas de las principales desventajas que podría representar la implementación de Lean son:
  - **Inversión inicial en capacitación y adaptación:** La implementación de herramientas Lean requiere una inversión inicial en formación del personal y ajustes en los procesos, lo que puede implicar un costo considerable, especialmente en etapas tempranas.
  - **Resistencia al cambio:** Integrar Lean en un SGE puede encontrar resistencia por parte del personal, particularmente si ya están acostumbrados a otros métodos de trabajo, lo que puede dificultar la adopción de nuevas prácticas.
  - **Requiere un compromiso de alto nivel:** Para que Lean funcione efectivamente dentro de un SGE, se necesita un compromiso constante de los niveles directivos y operativos, lo cual puede ser un desafío en organizaciones donde la dirección no está completamente alineada con los objetivos de eficiencia energética.
  - **Adaptación de herramientas Lean a contextos energéticos**: Algunas herramientas Lean fueron diseñadas principalmente para optimizar procesos de producción y pueden no ser directamente aplicables o requerir modificaciones para adecuarse a la gestión de la energía.
  - **Incremento en la carga de trabajo inicial:** La implementación de Lean dentro de un SGE puede llevar a un aumento temporal en la carga de trabajo, debido a la necesidad de realizar análisis detallados y de establecer procesos de monitoreo y evaluación continuos.
  - **Dificultad para cuantificar algunos beneficios energéticos:** No todos los beneficios de Lean son fáciles de medir en términos

energéticos, lo cual puede dificultar la justificación y evaluación del impacto real en el consumo de energía.

- **Posible enfoque excesivo en la eficiencia operativa:** Al enfocarse en mejorar la eficiencia en procesos específicos, se corre el riesgo de descuidar la visión general del sistema de gestión de energía, perdiendo oportunidades de mejora que requieren una visión más holística.
- **Dependencia en la recolección de datos confiables**: Las herramientas Lean requieren datos precisos y confiables para ser efectivas, y si la recolección y monitoreo de datos energéticos no es adecuada, los resultados de la implementación podrían ser imprecisos o inconsistentes.
- **Riesgo de aplicar herramientas Lean de forma aislada**: Si no se integra Lean adecuadamente en todo el sistema de gestión de energía, se corre el riesgo de que se implementen herramientas de forma aislada, lo que limita su impacto y genera fragmentación en el esfuerzo de mejora.
- **Esfuerzo constante para mantener la cultura de mejora continua**: La filosofía Lean depende de una cultura de mejora continua, que puede ser difícil de mantener en el largo plazo, especialmente si no se observan resultados rápidos o si el interés disminuye con el tiempo.

Estas desventajas resaltan los desafíos que puede presentar la integración de Lean en un SGE, y es fundamental abordarlos para asegurar que los beneficios superen las posibles limitaciones en el contexto de cada organización.

4.2 MÉTODO DE BUSQUEDA

En este capítulo se presenta la metodología de investigación empleada para caracterizar la estructura fundamental de la norma ISO 50001 y el enfoque Lean, con el propósito de identificar los puntos de convergencia que permitan su integración efectiva. Se realiza una revisión sistemática de literatura científica, documentos técnicos y casos de implementación, analizando los principios, herramientas y métodos que conforman cada

sistema. Este análisis detallado permite comprender cómo los elementos de ambas metodologías pueden complementarse para crear una propuesta integrada que potencie la gestión energética en el sector manufacturero colombiano, aprovechando las fortalezas de cada enfoque mientras se abordan sus limitaciones individuales presentadas en la sección anterior.

4.2.1 Proceso de muestreo

Para garantizar la calidad y confiabilidad de la información recopilada, se seleccionó Scopus como fuente principal de búsqueda, considerando su reconocimiento académico y la robusta estructura de metadatos que facilita el análisis bibliométrico. La estrategia de búsqueda se desarrolló en varias etapas:

Búsqueda inicial:

- Términos clave: "Lean" AND "Energy Management"
- Tipos de documentos: artículos, libros y revisiones
- Resultado: 874 documentos

Refinamiento por área de conocimiento:

- Se excluyeron documentos de medicina y bioquímica
- Se limitó a las áreas de "ingeniería" y "energía"
- Resultado: 154 documentos

Análisis cualitativo:

- Revisión de títulos y resúmenes
- Selección de documentos relevantes
- Resultado: 53 documentos

Análisis de Pareto:

- Criterio: número de citaciones
- Selección del 80% de los documentos más citados
- Muestra final: 42 documentos

El proceso detallado de selección y filtrado se ilustra en la Figura 14, donde se presenta el diagrama de flujo de la investigación.

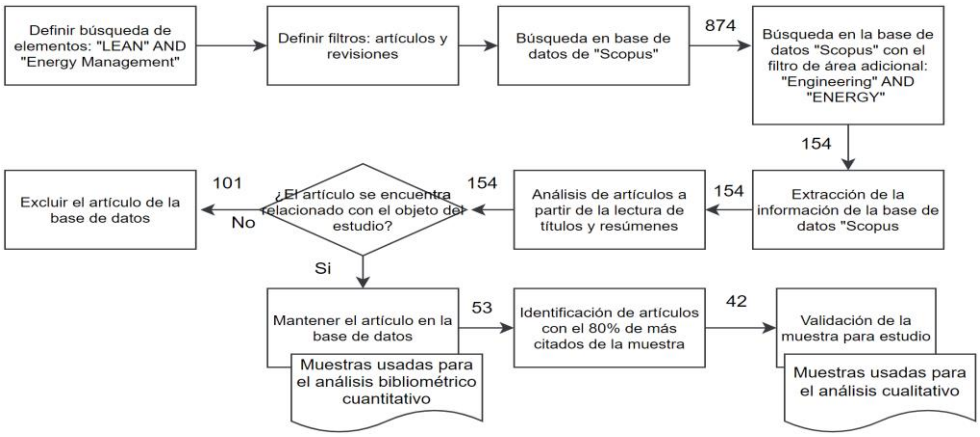


Figura 14: Flujo de investigación

Fuente: Elaboración propia

4.2.2 Análisis de datos

4.2.2.1 Análisis bibliométrico

El análisis bibliométrico se emplea para descubrir conexiones entre los elementos clave presentes en la literatura que conforma la muestra seleccionada. Esto se debe a que la exploración de referencias, publicaciones y citas resulta fundamental para seguir el desarrollo intelectual de una aplicación o método específico (Teichert & Shehu, 2010). Así, para comprender cómo se comportan los temas, la aparición de publicaciones en las principales revistas, los autores más citados, entre otros, existen diversos análisis de correlación. Para ello, el software utilizado corresponde a VOSViewer puesto que cuenta con herramientas que permiten este tipo de análisis (Jan van Eck & Waltman, 2010)

A través de la bibliometría, se realiza el análisis de coocurrencia de palabras clave y su evolución en el tiempo, la co-ocurrencia entre los títulos y resúmenes de artículos, co-citación de documentos, cuáles son los documentos con mayor número de publicaciones y qué artículos tienen el mayor número de citas de la muestra. A continuación, se presenta un análisis estadístico de los datos para identificar los artículos más citados, las principales revistas y otra información demográfica.

4.2.2.2 Resultados

En la Figura 15 se presenta un análisis cronológico de los temas tratados en las publicaciones, utilizando las palabras clave extraídas de la muestra seleccionada. Se observa que, a inicios de la última década abarcada en el análisis, el enfoque

predominante se centraba en la gestión de la energía. No obstante, con el transcurso del tiempo, las principales áreas de interés evolucionaron hacia la eficiencia energética, la gestión de desperdicios (incluidos los energéticos), la producción Lean y la sostenibilidad industrial, siguiendo este orden cronológico.

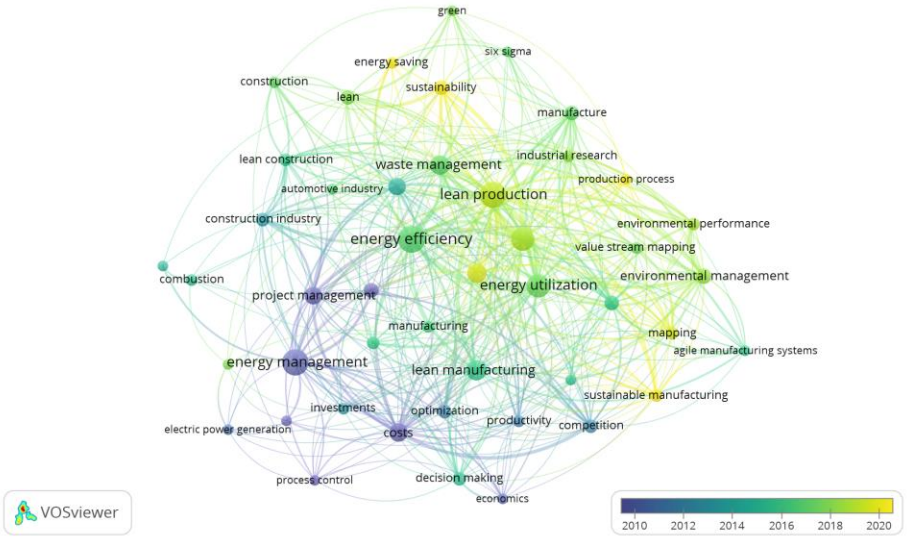


Figura 15: Red de palabras clave
Fuente: Elaboración propia, basado en datos de análisis de contenido utilizando el programa informático VOSviewer

Al profundizar en dos de los temas clave destacados en la red bibliográfica: "Gestión de la energía" y "Eficiencia energética", se evidencia una estrecha relación con la metodología Lean y las herramientas utilizadas en su implementación, tal como se muestra en la Figura 16. Este hallazgo refuerza el potencial de sinergia entre Lean Manufacturing y los sistemas de gestión de energía en el entorno industrial.

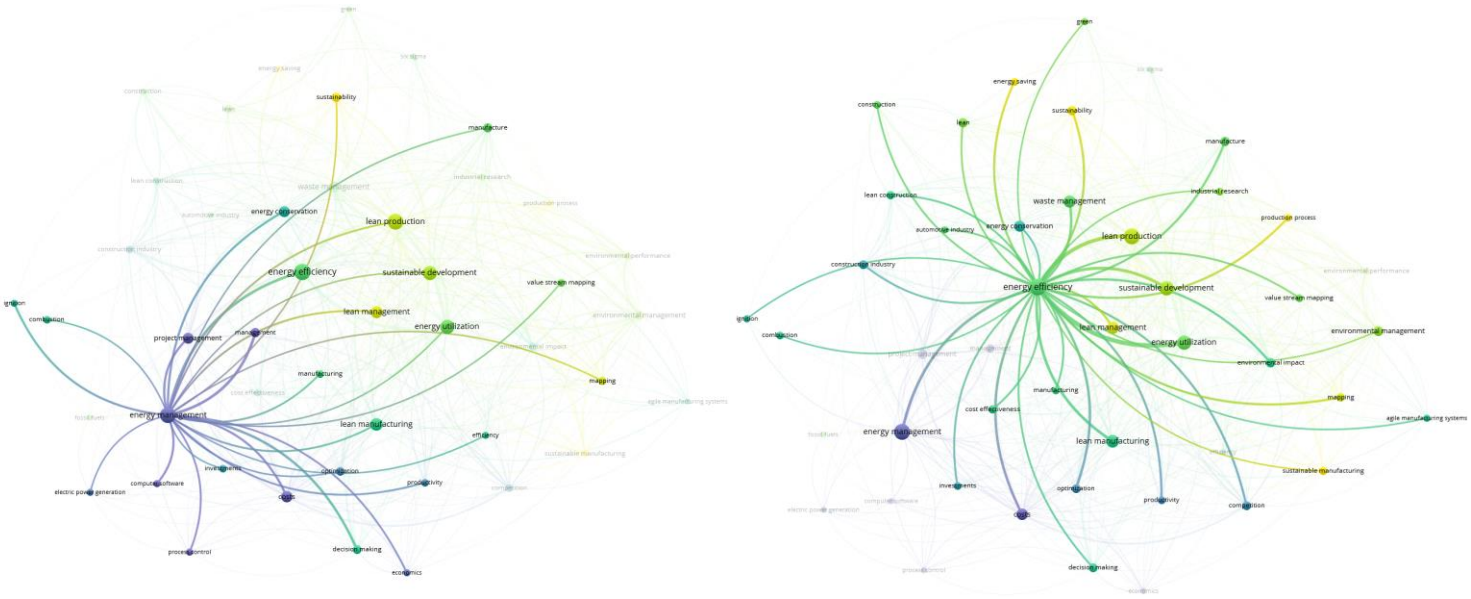


Figura 16: Red de palabras clave, enfoque en gestión de la energía y eficiencia energética
Fuente: Elaboración propia, basado en datos de análisis de contenido utilizando el programa informático VOSviewer

4.2.3 Análisis de contenido:

4.2.3.1 Estructura de la metodología establecida en la norma ISO 50001 (Sistemas de gestión de la energía — Requisitos con orientación para su uso) – "Anexo SL"

Las Normas ISO de Sistemas de Gestión constituyen una guía estructurada para implementar y mantener sistemas de gestión eficaces. Desarrolladas mediante el consenso de expertos internacionales, estas normas condensan las mejores prácticas y experiencias de gestión a nivel mundial. Su diseño versátil permite su adaptación a cualquier organización, independientemente de su dimensión, naturaleza o los productos y servicios que ofrezca. Algunas normas de sistemas de gestión son:

- ISO 9001:2015 Sistemas de gestión de la calidad – Requisitos.
- ISO 14001:2015 Sistemas de gestión ambiental - Requisitos con orientación para su uso.
- **ISO 50001:2011** Sistemas de gestión de la energía - Requisitos con orientación para su uso.

- ISO/IEC 27001:2013 Tecnología de la información. Técnicas de seguridad. Sistemas de Gestión de Seguridad de la Información. Requisitos.
- ISO 20121:2012 Sistemas de Gestión de Eventos Sostenibles - Requisitos con orientación para su uso.
- ISO 39001:2012 Sistemas de gestión para la seguridad vial - Requisitos con orientación para su uso.
- ISO 13485:2003 Dispositivos médicos – Sistemas de gestión de la calidad – Requisitos para fines reglamentarios.

A lo largo de los años ISO ha publicado muchas normas de sistemas de gestión en temas de calidad y medioambiente, hasta la seguridad de la información y la gestión de la continuidad del negocio. A pesar de compartir elementos comunes, todas las normas ISO de sistemas de gestión tienen diferentes estructuras. Esto, a su vez, da lugar a cierta confusión y dificultades en la fase de implementación.

Las organizaciones modernas suelen implementar y certificar múltiples normas de sistemas de gestión. La gestión individual de cada norma resulta ineficiente en términos de tiempo y recursos, evidenciando la necesidad de un enfoque integrado. Históricamente, la integración ha sido compleja debido a que cada norma presentaba estructuras, requisitos y terminología distintas.

Como solución, el Consejo Técnico (TMB - Technical Management Board) de la ISO desarrolló el **Anexo SL**: una **estructura de alto nivel** unificada para todas las normas de sistemas de gestión. Este marco establece una base genérica común para las normas actuales y futuras, permitiendo incorporar requisitos específicos según las necesidades de cada sector industrial. El Anexo SL facilita especialmente la implementación de sistemas de **gestión integrados**, permitiendo que las organizaciones cumplan simultáneamente con los requisitos de múltiples normas de manera coherente y sin conflictos (Viloria, 2015).

4.2.3.1.1. Estructura de alto nivel

La estructura de alto nivel, descrita en el Anexo SL de la directiva ISO/IEC Parte 1, establece una organización estandarizada para los requisitos de las normas ISO. Esta estructura ofrece múltiples beneficios, entre ellos:

- Optimiza recursos al facilitar la implementación de múltiples normas ISO en un Sistema de Gestión Integrado (SGI)
- Proporciona un lenguaje común para los requisitos principales, lo que mejora su comprensión e interpretación
- Refuerza el enfoque basado en procesos e incorpora el pensamiento basado en riesgos como elemento fundamental
- Simplifica el control y gestión de la información documentada en los SGI"

La Figura 17 muestra la estructura común en la que se organizan los apartados de los requisitos mencionados en el Anexo SL.



Figura 17: Estructura de alto nivel
Fuente: Elaboración propia, basado en (Annex SL Appendix 2 Harmonized Structure for MSS with Guidance for Use REV 2024, 2024)

A continuación, se presenta una descripción detallada de cada capítulo y subcapítulo definidos en la estructura de alto nivel, aplicable de manera transversal a los sistemas de gestión de energía propuestos en los estándares de la Organización Internacional de Normalización (ISO), específicamente en el Anexo SL en su versión vigente para 2024 (Annex SL Appendix 2 Harmonized Structure for MSS with Guidance for Use REV 2024, 2024). Las descripciones se basan en la experiencia del autor y en los requisitos establecidos en las normas ISO 9001 e ISO 50001.

La estructura inicia con la definición del alcance del sistema de gestión según la disciplina elegida en el **capítulo 1** (ya sea ambiental, calidad, **energía**, seguridad y salud en el trabajo, entre otras) . Posteriormente, establece las referencias normativas específicas de cada disciplina (**Capítulo 2)** y precisa los términos y definiciones aplicables al sistema (**Capítulo 3**).

El **capítulo 4** de la estructura de alto nivel se enfoca en el **"Contexto de la organización"** y establece los requisitos para comprender y definir el entorno en el cual opera el sistema de gestión. Este capítulo es clave porque ayuda a la organización a identificar los factores internos y externos que afectan su capacidad para alcanzar los resultados previstos y permite adaptar el sistema de gestión a su realidad específica. En este contexto, los requisitos correspondientes al capítulo 4 son:

- **4.1. Comprensión de la organización y su contexto:** La organización debe analizar tanto los factores internos (como cultura, capacidades, y procesos) como externos (como condiciones del mercado, regulaciones y tendencias) que pueden influir en su desempeño y en los objetivos del sistema de gestión.
- **4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas:** La organización debe identificar y tener en cuenta las necesidades y expectativas de las partes interesadas relevantes (como clientes, empleados, proveedores, reguladores, etc.), ya que estos grupos pueden impactar directa o indirectamente el sistema de gestión.
- **4.3 Determinación del alcance del sistema de gestión de la calidad:** Basándose en el análisis del contexto y las partes interesadas, la organización debe definir y documentar el alcance del sistema de gestión, estableciendo límites claros que demarquen qué partes de la organización y qué procesos están cubiertos.
- **4.4 Sistema de gestión y sus procesos:** El capítulo requiere que la organización identifique y describa los procesos que integran su sistema de gestión, así como las interacciones entre ellos, para garantizar que el sistema esté bien estructurado y sea coherente con los objetivos establecidos.

En el **capítulo 5 – "Liderazgo"** La estructura de alto nivel pone un énfasis particular en el liderazgo, y no solo en la dirección, como se hacía en versiones anteriores de las normas.

Esto implica que la alta dirección ahora asume una mayor responsabilidad y participación en el sistema de gestión de la organización.

La alta dirección debe integrar los requisitos del sistema de gestión en los procesos de negocio, garantizar que el sistema logre los resultados previstos y asignar los recursos necesarios para ello. También es responsable de comunicar la importancia del sistema de gestión y de promover la conciencia y la participación de los empleados. Los requisitos correspondientes al capítulo 5 son:

- **5.1 Liderazgo y compromiso:** La alta dirección debe demostrar su compromiso con el sistema de gestión, garantizando que esté alineado con la dirección estratégica de la organización. Esto implica asumir responsabilidad directa en la implementación y mejora continua del sistema, promoviendo su valor e importancia en toda la organización.
- **5.2 Política:** La alta dirección es responsable de establecer una política del sistema de gestión que refleje los objetivos y valores de la organización. Esta política debe ser comunicada y entendida por todos los miembros de la organización y estar disponible para las partes interesadas.
- **5.3 Roles, responsabilidades y autoridades en la organización:** El capítulo exige que la alta dirección asigne roles y defina responsabilidades y autoridades claras para todos los involucrados en el sistema de gestión, asegurando así una implementación eficaz y el cumplimiento de los requisitos.

El **capítulo 6** de la estructura de alto nivel aborda la **"Planificación"** del sistema de gestión, centrándose en cómo la organización debe planificar para identificar, abordar y gestionar los riesgos y oportunidades, así como establecer objetivos claros y medibles. Este enfoque proactivo es clave para anticiparse a posibles problemas y reducir la necesidad de acciones correctivas en el futuro. Los requisitos relacionados, abarcan:

- **6.1 Acciones para abordar riesgos y oportunidades:** La organización debe identificar los riesgos y oportunidades que podrían afectar el logro de los resultados deseados del sistema de gestión. Esto permite desarrollar planes que minimicen los riesgos y potencien las oportunidades, garantizando la resiliencia y efectividad del sistema

- **6.2 Objetivos del sistema de gestión y planificación para lograrlos:** los objetivos del sistema de gestión deben estar alineados con la política de la organización, ser medibles, y estar sujetos a un seguimiento y revisión periódicos. Además, la organización debe definir claramente cómo se van a lograr estos objetivos, incluyendo los recursos y el cronograma necesarios.
- **6.3 Planificación de los cambios:** El capítulo también establece la necesidad de gestionar cualquier cambio que afecte al sistema de gestión, asegurando que los cambios sean implementados de manera controlada y que no comprometan los resultados planificados.

El **capítulo 7** de la estructura de alto nivel se centra en el **"Apoyo"** necesario para que el sistema de gestión funcione eficazmente y logre los objetivos previstos. Este capítulo establece los requisitos relacionados con los recursos, la competencia, la toma de conciencia, la comunicación y la información documentada, aspectos esenciales para implementar y mantener el sistema de gestión en la organización. En este contexto, los requisitos correspondientes al capítulo 7 son:

- **7.1 Recursos:** La organización debe identificar y proporcionar los recursos necesarios (humanos, técnicos, financieros, etc.) para el funcionamiento adecuado del sistema de gestión.
- **7.2 Competencia:** Se requiere que el personal tenga la competencia adecuada para desempeñar sus roles, con el entrenamiento y la experiencia necesarios.
- **7.3 Toma de conciencia**: El sistema de gestión busca fomentar la toma de conciencia entre los empleados sobre la importancia de sus actividades en relación con los objetivos del sistema.
- **7.4 Comunicación:** El capítulo destaca la importancia de gestionar la comunicación interna y externa para que toda la organización, así como las partes interesadas relevantes, comprendan los objetivos, los roles y las responsabilidades dentro del sistema de gestión.
- **7.5 Información documentada:** Este apartado redefine la gestión de la información documentada, unificando términos previamente conocidos como documentos y registros, y establece cómo debe controlarse para asegurar su disponibilidad, protección y adecuada actualización. A su vez este ítem abarca una

serie de subcapítulos que son transversales y aplicables a cualquier sistema de gestión. Estos son:

- **7.5.1 Generalidades**
- **7.5.2 Creación y actualización**
- **7.5.3 Control de la información documentada**

El **capítulo 8** de la estructura de alto correspondiente a **"Operaciones"**, abarca los requisitos necesarios para la planificación, implementación y control de los procesos esenciales del sistema de gestión. La mayoría de los requisitos del sistema de gestión se encuentran en este capítulo, que abarca tanto los procesos internos como aquellos contratados externamente. La gestión del proceso global incluye criterios específicos para el control de estos procesos, así como enfoques para gestionar tanto los cambios planificados como los no previstos. Este capítulo tiene incluye subcapítulos enfocados en la particularidad de cada uno de los sistemas de gestión, es por ello que solo se hará mención del ítem cuya aplicabilidad es transversal independientemente del enfoque del sistema de gestión (esto basado en el anexo SL):

- **8.1 Planificación y control operacional:** La organización debe planificar, implementar y controlar los procesos operativos necesarios para cumplir con los requisitos del sistema de gestión, garantizando que estén alineados con la política y los objetivos definidos. Esto incluye asegurar que los procesos se ejecuten bajo condiciones controladas y que se mantenga la consistencia en la calidad de los resultados.

El **capítulo 9** de la estructura de alto nivel de las normas ISO se enfoca en la **evaluación del desempeño**. Para cumplir con este capítulo, las organizaciones deben establecer qué procesos deben ser monitoreados, cómo se deben medir, analizar y evaluar, así como determinar los momentos oportunos para realizar estas actividades. La auditoría interna es un componente clave de este proceso, ya que verifica que el sistema de gestión cumpla con los requisitos tanto internos como de la norma, y que se haya implementado y mantenido correctamente. Finalmente, la revisión por la dirección, que se debe llevar a cabo en intervalos establecidos, evalúa si el sistema de gestión es adecuado, pertinente y eficiente. Los tres apartados del capítulo 9 incluyen los siguientes requisitos:

- **9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación:** La organización debe identificar qué elementos son esenciales para el sistema de gestión y establecer métodos para monitorear y medir su desempeño. Esto incluye definir qué datos recopilar, la frecuencia, el análisis de los resultados y la evaluación continua para verificar la efectividad.
- **9.2 Auditoría interna:** La organización debe llevar a cabo auditorías internas periódicas para evaluar la conformidad del sistema de gestión respecto a los requisitos de la norma y la implementación efectiva de procesos. El objetivo es encontrar áreas de mejora y asegurar que el sistema de gestión esté alineado con los objetivos organizacionales.
- **9.3 Revisión por la dirección:** Este apartado requiere que la alta dirección revise el sistema de gestión en intervalos planificados. La revisión debe considerar el desempeño del sistema, la idoneidad de los recursos, y la oportunidad para mejorar. Los resultados de esta revisión pueden generar cambios en los objetivos, los recursos o en la política de la organización.

En un mundo empresarial en constante cambio, las cosas no siempre salen como se planifican. **El capítulo 10** aborda cómo enfrentar las no conformidades y aplicar acciones correctivas, además de implementar estrategias para la **mejora** continua. Esto se consigue a través de los siguientes requisitos:

- **10.1 Mejora continua:** La organización debe comprometerse con la mejora continua del sistema de gestión para incrementar su desempeño. Esto implica evaluar regularmente las oportunidades de mejora y aplicar los cambios necesarios para que el sistema sea cada vez más efectivo y eficiente.
- **10.2 No conformidad y acción correctiva:** La organización debe establecer procesos para abordar no conformidades cuando se presenten, eliminando sus causas para evitar recurrencias. Esto incluye identificar el problema, tomar medidas correctivas, evaluar la efectividad de estas acciones y actualizar los riesgos y oportunidades si es necesario.

4.2.3.1.2. Enfoque a procesos

Ahora bien, una vez se conoce la estructura de alto nivel establecida en el anexo SL de las normas de sistemas de gestión propuestas por ISO, y de acuerdo con una de sus principales normas como lo es la ISO 9001, estos estándares internacionales promueven la adopción de un **enfoque a procesos** al desarrollar, implementar y mejorar la eficacia de los sistemas de gestión, para aumentar la satisfacción del cliente mediante el cumplimiento de sus requisitos. Este enfoque permite a la organización controlar las interrelaciones e interdependencias entre los procesos del sistema, de modo que se pueda mejorar el desempeño global de la organización.

El enfoque a procesos implica la definición y gestión sistemática de los procesos y sus interacciones, con el fin de alcanzar los resultados previstos de acuerdo con la política de la calidad y la dirección estratégica de la organización. La gestión de los procesos y el sistema en su conjunto puede alcanzarse utilizando el ciclo **PHVA** con un enfoque global de pensamiento basado en riesgos dirigido a aprovechar las oportunidades y prevenir resultados no deseados (ICONTEC, 2015).

4.2.3.1.2.1. Ciclo Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA / PDCA / Deming).

Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA) es una metodología de mejora continua desarrollada por Walter Shewhart en Western Electric y popularizada por el Dr. W. Edwards Deming. Consta de cuatro fases; 1) Planificar, 2) Hacer, 3) Verificar y 4) Actuar. Estas fases combinan una planificación precisa con la realización de pequeñas porciones, y miden el método más eficaz mediante el uso de la retroalimentación. El ciclo PHVA es una noción esencial de los procesos de mejora continua establecidos en la cultura de las organizaciones. Es fácil de entender y debería ser utilizado por un gran número de personas en la empresa. El ciclo PHVA se utiliza ampliamente en el desarrollo e implementación de políticas de calidad (Adnan & Nazir, 2014).

En el contexto de la gestión de la energía, el enfoque PHVA puede perfilarse como sigue (UNE, 2018):

- **Planificar**: comprender el contexto de la organización, establecer una política energética y un equipo de gestión de la energía, considerar las acciones para

tratar los riesgos y las oportunidades, realizar una revisión energética, identificar los usos significativos de la energía (UIEn) y establecer los indicadores de desempeño energético (IDEn), las líneas de base energéticas (LBEn), los objetivos y las metas energéticas, y los planes de acción necesarios para entregar los resultados que mejorarán el desempeño energético de acuerdo con la política energética de la organización.

- **Hacer:** implementar los planes de acción, los controles operacionales y de mantenimiento, y la comunicación, asegurar la competencia y considerar el desempeño energético en el diseño y la adquisición.
- **Verificar:** hacer el seguimiento, la medida, el análisis, la evaluación, la auditoría, y las revisiones por la dirección del desempeño energético y del SGEn.
- **Actuar:** emprender acciones para tratar las no conformidades y mejorar continuamente el desempeño energético y el SGEn.

El ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar) puede aplicarse tanto a procesos individuales como al sistema de gestión en su conjunto. La Figura 18 se ilustra cómo los Capítulos 4 a 10 pueden agruparse en relación con dicho ciclo. A continuación, se presenta una representación de la estructura de la Norma Internacional ISO 9001 integrada con el ciclo PHVA (ICONTEC, 2015). Considerando que esta representación se basa en la estructura de alto nivel, se aclara que es aplicable a cualquier sistema de gestión desarrollado bajo este esquema, por lo cual se ha optado por tachar los términos que limitan el gráfico a solo sistemas de gestión de calidad. Los números entre paréntesis hacen referencia a los capítulos de esta Norma Internacional.

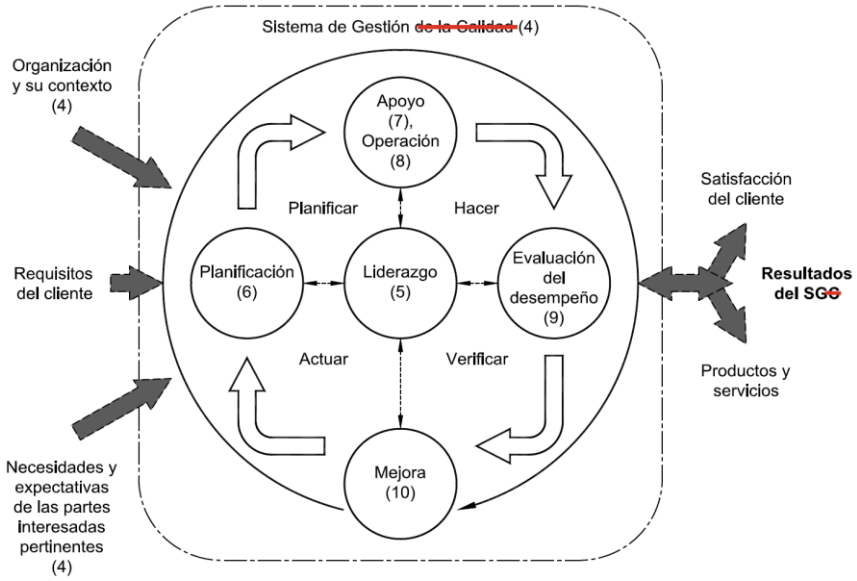


Figura 18: Representación de la estructura de la Norma ISO 9001 con el ciclo PHVA
Fuente: (ICONTEC, 2015). Se eliminan las letras que tienen una línea roja, con el objetivo de permitir la aplicación de manera transversal a Sistemas de gestión basados en estructuras de alto nivel (No solo calidad)

Con el objetivo de aclarar las etapas del ciclo PHVA en las que se enmarcan los capítulos de la estructura de alto nivel, y siguiendo la propuesta de (Salazar et al., 2020), quien establece que la similitud entre la aplicación de la norma ISO 9001 y el ciclo de Deming permite agrupar los capítulos de la siguiente forma (Ver Figura 19):

Ciclo PHVA	Estructura de la Norma
Planificar	Planificación (6.1, 6.2 y 6.3)
Hacer	Apoyo (7.1, 7.2, 7.3, 7.4 y 7.5)
	Operación (8.1, 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6 y 8.7)
Verificar	Evaluación del desempeño (9.1, 9.2 y 9.3)
Actuar	Mejora (10.1, 10.2 y 10.3)

Figura 19: Clasificación estructura de alto nivel en el ciclo PHVA
Fuente: (Salazar et al., 2020)

En la Figura 20, Se propone un ajuste al esquema presentado en la Figura 18 que posteriormente facilitará la integración con otras metodologías como LEAN Manufacturing.

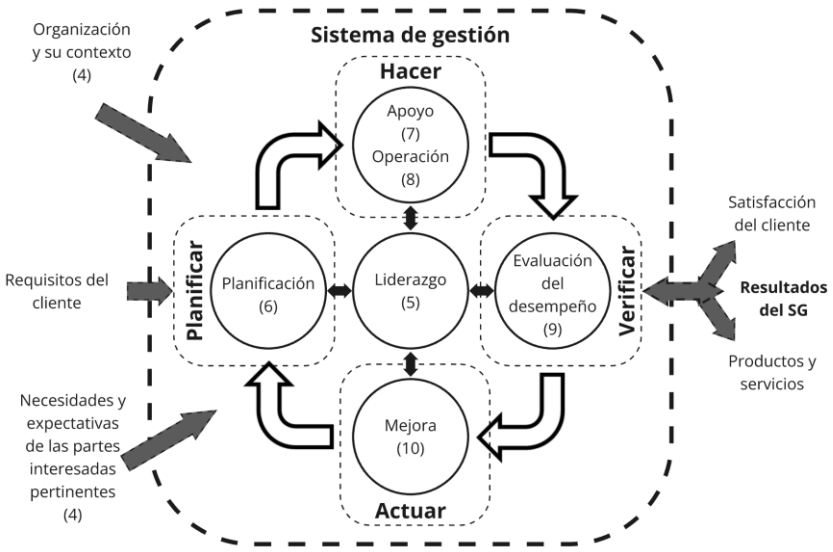


Figura 20: Adaptación de estructura propuesta por ISO para integración con otras metodologías
Fuente: Elaboración propia basada en (ICONTEC, 2015)

4.2.3.2. Estructura "Lean Manufacturing"

Para identificar la estructura utilizada en la implementación de la metodología es necesario entender la cultura Lean. Mediante la investigación realizada y de acuerdo con (Pascal, 2015) esta cultura organizacional se define como la experiencia diaria de los miembros del equipo y el comportamiento actual. Durante sus visitas a plantas de Toyota en diferentes continentes, observó que la experiencia diaria y el comportamiento en cada una de ellas se caracteriza por varios elementos dentro de los que destaca la aplicación del ciclo PHVA/PDCA también conocido como ciclo de Deming debido a su principal promovedor quien introdujo el concepto en Japón durante sus conferencias de 1954 ante la Unión Japonesa de Científicos e Ingenieros. Él atribuyó el origen de este ciclo a su mentor Walter Shewhart, cuyo trabajo inicial sobre el ciclo de investigación-diseño-producción-venta sirvió como base para el PDCA (Ver Figura 21).

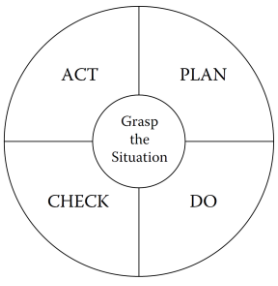


Figura 21: Ciclo PDCA en Lean Manufacturing
Fuente: (Pascal, 2015)

4.2.3.2.1. Ciclo Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA / PDCA / Deming).

Si bien en la sección 4.2.3.1.2.1 se presentó una descripción general del ciclo, en esta sección se profundizará en cada una de sus fases desde la óptica de la manufactura esbelta, resaltando los principios y herramientas específicas de este enfoque."

Comprensión de la Situación (GTS)

La Comprensión de la Situación (GTS, por sus siglas en inglés) es una actividad continua que orienta cada paso del ciclo PDCA. Este proceso implica desarrollar una conciencia sobre el problema a través de la comprensión de los siguientes aspectos:

- La visión general (el panorama completo).
- Las partes clave de ese panorama que requieren una investigación profunda.
- Lo que realmente está ocurriendo.
- Lo que debería estar ocurriendo.
- Las tendencias actuales y las posibles tendencias futuras.
- La relación del problema con los valores y objetivos de la organización.

GTS es un proceso activo que exige **Nemawashi** (preparación y consenso previo) y la observación directa de la condición real. Este enfoque se facilita considerablemente cuando se han establecido objetivos **SMART** (específicos, medibles, alcanzables, relevantes y con un plazo definido) y sistemas de medición eficaces.

Planificar

El proceso de planificación implica responder las siguientes preguntas clave ¿A dónde queremos llegar? Y ¿Cómo llegamos allí?

Para responder de manera integral, es necesario realizar **Nemawashi** y visitar el piso de producción (**Gemba**) para observar directamente la situación. Una buena planificación debe incluir los siguientes elementos:

- **Las 5 W y 1 H**: quién, qué, cuándo, dónde, por qué y cómo.
- **Plan de medición** que contemple objetivos SMART (específicos, medibles, alcanzables, relevantes y con un plazo definido), procesos de medición sencillos y sistemas visuales que permitan una comprensión compartida.

Además, es importante considerar preguntas relacionadas, tales como:

- ¿Qué eventos positivos y negativos podrían ocurrir durante el proceso, y cómo se responderá a ellos?
- ¿Cuál es la capacidad actual de nuestro personal?
- ¿Qué formación se necesita para mejorar sus competencias?
- ¿Cuáles son los puntos de control y los hitos a lo largo del camino?

Los principales resultados de una planificación adecuada incluyen el diagrama de Gantt, un plan de contingencia y paneles de control o tableros de indicadores.

La planificación desde el punto de vista de Lean se realiza a través de a través de la metodología denominada Hoshin Planning o Hoshin Kanri que representa una evolución lógica de la gestión por objetivos (MBO) introducida por Peter Drucker en su obra clásica de 1954 The Practice of Management. Este modelo se fundamenta en las fortalezas de la MBO, superando sus limitaciones. La influencia de Drucker en el pensamiento empresarial japonés fue significativa, y empresas como Toyota adoptaron y perfeccionaron la planificación Hoshin al refinar sus ideas. Entre las mejoras clave destacan:"

- **Centrarse en objetivos y procesos**
- PDCA y Métricas
- Nemawashi
- Catchball
- Enfoque en las personas

Hacer

La etapa "Hacer" del ciclo PDCA contiene su propio ciclo interno (Ver Figura 22), lo cual refleja la importancia fundamental de las actividades piloto. Una implementación piloto permite fortalecer y validar el plan antes de su despliegue completo, contrastando significativamente con el enfoque simplista de "solo hacerlo". El ciclo PDCA requiere una evaluación objetiva de las capacidades del equipo, siendo necesario abordar las brechas de competencia antes de proceder con la implementación. Este proceso demanda metodologías rigurosas para la medición de las capacidades del personal, donde el departamento de Recursos Humanos debe establecer parámetros concretos que permitan evaluar la condición actual y desarrollar medidas correctivas apropiadas.

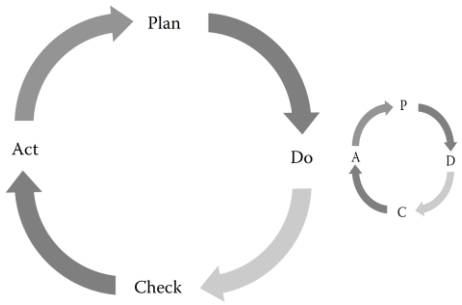


Figura 22: Ciclo PDCA del "hacer"
Fuente: (Pascal, 2015)

Verificar:

La etapa de "Verificación" implica un proceso de confirmación que debe considerar múltiples aspectos críticos:

- Los responsables de la verificación
- Los elementos por verificar
- El momento oportuno para la verificación
- La frecuencia de las verificaciones
- La metodología de verificación

Un sistema robusto de medición facilita la identificación inmediata de problemas. Los indicadores deben abarcar tanto los resultados finales como los procesos que conducen a ellos. Utilizando una analogía con el fútbol, es esencial monitorear:

- Los resultados finales (marcador)
- Los indicadores de proceso (avances, yardas por pase/carrera, intercepciones y pérdidas de balón)

La verificación directa in situ (Gemba) resulta fundamental, evitando la dependencia exclusiva de informes documentales o información de terceros. La observación directa de la situación permite eliminar potenciales fallos mediante una verificación exhaustiva.

Actuar:

La fase de "Actuar" comprende el análisis de la situación posterior a la verificación y la implementación de acciones pertinentes, incluyendo:

- La estandarización cuando tanto los resultados como los procesos alcanzan los objetivos establecidos
- La implementación de medidas correctivas cuando los resultados o procesos no cumplen los estándares

La experiencia demuestra que frecuentemente se requieren medidas correctivas, las cuales deben incluir:

- Acciones inmediatas para contener la situación
- Soluciones permanentes que aborden las causas raíz

Durante esta fase, resulta crucial mantener el enfoque en el factor humano, analizando las brechas de capacidad y anticipando necesidades futuras de formación (Pascal, 2015).

El enfoque de la gestión basado en ciclos PDCA (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar), (Ciclo de Deming), junto con su énfasis en procesos y objetivos, constituye un pilar fundamental tanto en la filosofía Lean Manufacturing como en los Sistemas de Gestión de Energía (SGE) basados en la norma ISO 50001. Esta convergencia de principios sugiere la existencia de una complementariedad intrínseca entre ambas metodologías, lo que facilita su integración y podría maximizar los beneficios en términos de uso eficiente de los recursos energéticos. La alineación de estas prácticas respalda la validez de la hipótesis propuesta (ver sección 3.4.1), al evidenciar un factor común que favorece su implementación conjunta.

Por lo tanto, resulta esencial identificar los principios y herramientas de Lean Manufacturing que puedan adaptarse al contexto energético, con el propósito de generar una sinergia metodológica que permita alcanzar el objetivo de la optimización del uso energético en el entorno industrial. En este sentido, los principios y herramientas de Lean propuestos por (Pascal, 2015) serán contextualizados a la gestión de la energía dentro del marco de esta tesis, proporcionando una base sólida para el análisis y la integración de ambas metodologías.

4.2.3.3. Principios Lean enfocados la gestión eficiente de recursos energéticos

De acuerdo con (Pascal, 2015), Lean es una combinación de principios, herramientas y técnicas diseñadas para abordar los problemas de raíz de las actividades ineficaces en la fabricación. Lean tiene como objetivo optimizar los valores de productividad, calidad, costo y capacidad para cumplir con los requisitos del cliente (entrega) y al mismo tiempo garantizar las condiciones de seguridad de producción. Para alcanzar estos objetivos, Lean intenta deshacerse de tres fuentes principales que provocan daños en el sistema de gestión de la producción: **desperdicio / Muda (ver 4.2.3.2.1), volatilidad / Mura (ver 4.2.3.2.2) y sobrecarga / Muri (ver 4.2.3.2.3)**. Las practicas Lean representan sus principios en forma de implementación, por lo cual hay muchas herramientas y técnicas de Lean que varían de un estudio a otro.

Taiichi Ohno concibió el sistema Lean, el cual ha sido ampliado y profundizado por una serie de destacados practicantes, entre ellos:

- Hiroyuki Hirano: Sistema 5S
- Seiichi Nakajima: Mantenimiento Productivo Total (TPM)
- Kenichi Sekine: Flujo continuo
- Shigeo Shingo: Jidoka y cambio rápido de herramientas (SMED)

A pesar de su potencial, la implementación del sistema Lean en su totalidad ha demostrado a lo largo de la historia ser un desafío. Muchas organizaciones tienden a adoptar únicamente algunas herramientas, como el sistema 5S, eventos de kaizen, o prácticas aisladas de TPM, lo cual no genera los resultados esperados. Estas implementaciones fragmentadas, en ocasiones, se asemejan a un proyecto inconsistente, compuesto por elementos mal integrados. En contraste, Toyota desarrolló el sistema Lean de forma orgánica, orientando sus esfuerzos en función de la necesidad específica de cada situación.

En este contexto, los libros de Taiichi Ohno y del profesor Yasuhiro Monden, de la Universidad de Tsukuba, son recursos fundamentales que describen en detalle el funcionamiento del sistema Lean en Toyota. Sin embargo, su nivel de profundidad y alcance puede resultar complejo para quienes se acercan por primera vez a esta filosofía.

Un marco representativo del sistema Lean es la Casa de la Producción Lean (Ver Figura 23), cuyo fundamento se basa en la estabilidad y la estandarización. Las paredes de esta casa representan la entrega *justo a tiempo (Just-In-time)* y el *Jidoka* (Automatización con una mente humana), mientras que el techo simboliza el objetivo principal: satisfacer al cliente proporcionando productos de la más alta calidad, al menor costo y en el menor tiempo posible. El corazón del sistema es la participación activa de los equipos, quienes, mediante su flexibilidad y motivación, buscan continuamente formas de mejorar.

En Toyota, se comprende que cada actividad está interconectada y guiada por un mismo enfoque sistémico, conocido como el "modo de pensar (Thinking way)". Este enfoque unificado permite alinear todas las acciones con los objetivos estratégicos de la organización, asegurando coherencia y efectividad en la gestión operativa. El poder del sistema Toyota radica en el refuerzo continuo de los conceptos fundamentales que lo sustentan. Esta práctica no solo fortalece la estructura del sistema, sino que también impulsa la mejora constante en los procesos. En la Figura 24 se muestra cómo encajan las diversas actividades Lean dentro de este enfoque integrado (Pascal, 2015).

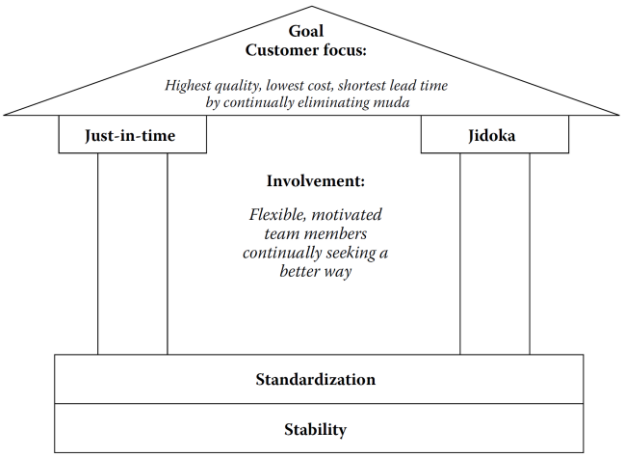


Figura 23: Imagen básica de "Lean Production"
Fuente:(Pascal, 2015)

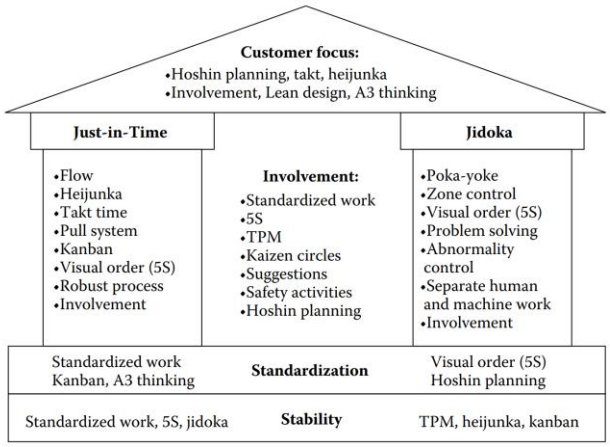


Figura 24: Elementos principales de la casa LEAN
Fuente:(Pascal, 2015)

Para comprender el desarrollo de los subcapítulos posteriores de este documento, es esencial familiarizarse con tres de los principios fundamentales de la filosofía Lean: la reducción e incluso eliminación de los desperdicios conocidos como *"Wastes"* o *"Mudas",* irregularidades o variabilidad en los procesos (*Mura*) y la sobrecarga (*Muri*). Este enfoque busca optimizar los procesos al identificar y minimizar aquellas actividades que no aportan valor, permitiendo así una utilización más eficiente de los recursos, incluido el energético.

4.2.3.2.1. Muda

Muda es una palabra japonesa esencial dentro de la filosofía Lean. Su pronunciación puede parecer pesada y un hasta desagradable, lo que refleja su significado: desperdicio, o cualquier actividad por la que el cliente no estaría dispuesto a pagar. En términos simples, *muda* es lo opuesto al valor, que representa todo aquello por lo que un cliente sí estaría dispuesto a pagar.

El movimiento humano en un proceso de producción puede clasificarse en tres categorías principales Figura 25:

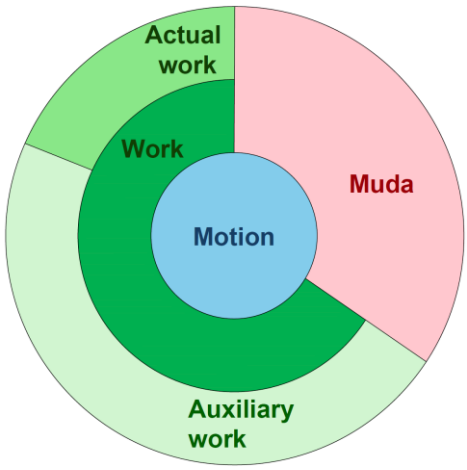


Figura 25: Trabajo VS Muda
Fuente: Elaboración propia basado en (Pascal, 2015)

1. **Trabajo real**: Movimiento que agrega valor al producto o servicio.
2. **Trabajo auxiliar**: Movimiento que respalda el trabajo real, como preparar una pieza antes de trabajarla o colocarla en una máquina.
3. **Muda**: Movimiento que no genera valor. Una prueba sencilla para identificar *muda* es preguntarse: si se deja de hacer esta acción, ¿habría algún impacto negativo en el producto?

Por ejemplo, en una operación de soldadura por puntos:

- El **trabajo real** corresponde a la energía utilizada en la aplicación de la soldadura
- El **trabajo auxiliar** considera la energía utilizada para preparar y retirar la pieza

Eliminar o minimizar el *muda* es un objetivo central del sistema Lean, ya que permite enfocar los recursos en actividades que realmente generan valor, optimizando así los procesos y el uso de recursos energéticos.

En la filosofía Lean, se identifican ocho tipos diferentes de *muda*, como se muestra en la Figura 26. Además, destaca el sorprendente ratio 5/95, donde solo el 5 % de las actividades agregan valor, mientras que el 95 % restante representa desperdicio. Este desequilibrio es común en la mayoría de las operaciones y pone en evidencia la afirmación de Taiichi Ohno: “El verdadero costo es del tamaño de una semilla de ciruela”.

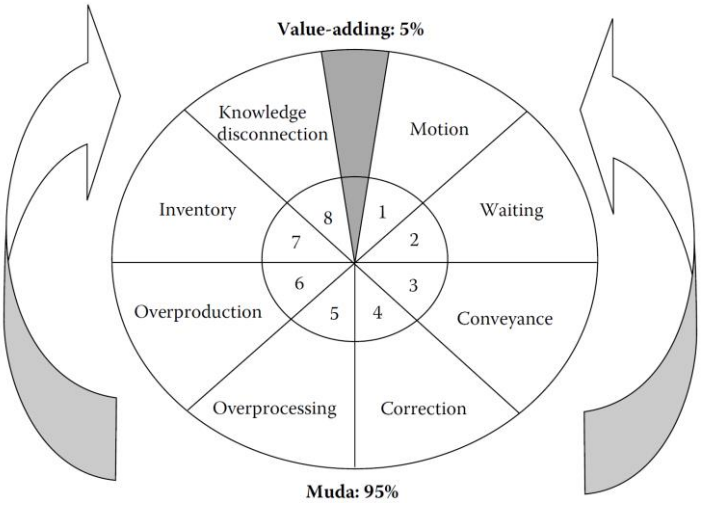


Figura 26: Tipos de muda
Fuente:(Pascal, 2015)

A continuación, se describen las ocho Mudas, adaptadas a un enfoque centrado en la gestión eficiente de los recursos energéticos, siguiendo los principios propuestos por (Pascal, 2015) . Este análisis permite identificar y abordar los desperdicios desde una perspectiva energética, promoviendo la sostenibilidad y la optimización de los recursos en los procesos organizacionales.

4.2.3.2.1.1. Movimiento (Motion)

El movimiento desperdiciado tiene tanto un componente humano como uno mecánico, y su impacto en la eficiencia energética es significativo. En el caso del factor humano, este tipo de desperdicio está relacionado con la ergonomía en el lugar de trabajo. Un diseño ergonómico deficiente no solo afecta negativamente la productividad y la calidad, sino también la seguridad. La productividad se ve perjudicada por movimientos innecesarios como caminar, alcanzar o girar, mientras que la calidad disminuye cuando los trabajadores deben esforzarse físicamente para manipular o inspeccionar piezas debido a malas condiciones ergonómicas o ambientales.

El impacto más significativo de una ergonomía deficiente radica en la seguridad, ya que las lesiones ergonómicas representan más del 50% de las lesiones laborales. Los factores de riesgo ergonómicos más importantes incluyen la postura, la fuerza y la repetición, todos ellos directamente relacionados con el diseño del entorno laboral. Desde una perspectiva de gestión eficiente de la energía, minimizar el *muda* (desperdicio) asociado

al movimiento humano no solo mejora las condiciones de trabajo, sino que también optimiza el consumo energético al reducir los movimientos innecesarios y las ineficiencias del sistema. Por lo tanto, la ergonomía se convierte en un pilar esencial para la implementación de sistemas energéticos más sostenibles y eficientes.

4.2.3.2.1.2. Retrasos (Delay)

El desperdicio por espera ocurre cuando un trabajador debe esperar la entrega de materiales, una parada en la línea de producción o el tiempo necesario para que una máquina procese una pieza. También se genera cuando hay un exceso de trabajo en proceso (Work-in-process / WIP) debido a la producción en lotes grandes, problemas con el equipo en etapas posteriores o defectos que requieren reprocesamiento.

Estas demoras no solo afectan la eficiencia operativa, sino que también incrementan el tiempo de entrega (lead time), que es el período entre la solicitud del cliente y la entrega del producto. En el contexto de un sistema Lean, este es un indicador clave de desempeño. El tiempo de entrega se define como:

$$Tiempo\ de\ entrega\ (Lead\ time) = Tiempo\ de\ procesamiento\ (Processing\ time) + tiempo\ de\ retención\ (Retention\ time)$$

Las demoras aumentan el tiempo de retención, que en la mayoría de las operaciones de manufactura supera ampliamente el tiempo de procesamiento. Desde una perspectiva energética, este desperdicio representa un consumo innecesario de recursos, ya que el tiempo ocioso de los equipos y trabajadores implica energía desaprovechada. Reducir el desperdicio por espera no solo mejora los tiempos de entrega, sino que también optimiza el consumo energético al eliminar tiempos improductivos en los procesos.

4.2.3.2.1.3. Transporte (Conveyance)

El desperdicio por transporte incluye los grandes desperdicios derivados de diseños ineficientes del lugar de trabajo, equipos excesivamente grandes o sistemas tradicionales de producción en lotes. Este tipo de desperdicio se genera, por ejemplo, cuando lotes grandes deben trasladarse de un proceso a otro. Reducir el tamaño de los lotes y acercar los procesos entre sí puede minimizar este muda.

Además, existe un componente micro relacionado con el transporte de piezas dentro de un área de proceso, ya sea mediante cintas transportadoras o realizado manualmente por los trabajadores. Los desperdicios por transporte, retraso y movimiento están estrechamente relacionados y, aunque el transporte es una parte inherente del proceso productivo, su impacto energético debe minimizarse a través de una gestión eficiente. Esto incluye la implementación de sistemas de control y monitoreo del consumo energético, la programación eficiente de los movimientos de materiales, el mantenimiento preventivo de los equipos de transporte y la automatización inteligente de los sistemas de movimiento. Además, es esencial llevar a cabo una evaluación continua de la eficiencia energética en transporte para identificar oportunidades de mejora.

El consumo energético relacionado con el transporte no ocurre de forma aislada; está vinculado directamente a otros desperdicios energéticos. Por ejemplo, los tiempos de espera prolongados mantienen los equipos en funcionamiento innecesariamente, mientras que los movimientos innecesarios generan un consumo adicional de energía. Así mismo, los procesos no optimizados pueden incrementar significativamente la necesidad de transporte, generando un efecto acumulativo que afecta la eficiencia energética global. En el contexto de la eficiencia energética industrial, el desperdicio asociado al transporte incluye el consumo energético innecesario causado por:

1. Diseño y Layout de Planta:
    - Distribución ineficiente de líneas de producción
    - Equipamiento sobredimensionado de transporte
    - Sistemas de producción por lotes tradicionales que demandan mayor energía
2. Consumo Energético en Transporte de Materiales:
    a) Escala Mayor:
        - Consumo energético en el movimiento de lotes grandes entre procesos
        - Gasto energético en sistemas de transporte de largo recorrido
        - Pérdidas por operación de equipos de manipulación de gran capacidad o capacidad sobredimensionada

    a) Escala Menor:

- Consumo en transportadores y cintas dentro de áreas de proceso
- Energía utilizada en equipos de manipulación manual
- Gasto energético en sistemas de transporte interno

Para optimizar el consumo energético asociado al transporte, es fundamental implementar medidas que reduzcan los desplazamientos y mejoren la eficiencia en los procesos. Entre las principales recomendaciones que tratarán de ser abordadas mediante la implementación de herramientas lean que serán tratadas en posteriores capítulos se encuentran: trabajar con lotes de producción más pequeños, acercar los procesos relacionados para minimizar distancias, optimizar las rutas de transporte de materiales, dimensionar adecuadamente los equipos utilizados y emplear sistemas de transporte que sean energéticamente eficientes. Estas acciones no solo disminuyen el uso de energía, sino que también agilizan las operaciones y reducen los costos asociados (Pascal, 2015).

4.2.3.2.1.4. Correcciones (Correction)

En el contexto de Lean Manufacturing y la gestión energética industrial, el desperdicio por corrección (muda) representa una importante fuente de ineficiencia energética. Este desperdicio se manifiesta cuando la energía se consume dos veces: primero en la producción de un artículo defectuoso y luego en su reproceso o corrección. Este tipo de desperdicio incluye todos los recursos materiales, el tiempo y, particularmente, la energía invertida tanto en la fabricación de los defectos como en su corrección

La filosofía Lean aplicada a la gestión energética identifica el consumo energético asociado a las correcciones como un desperdicio crítico que debe eliminarse. Este consumo incluye la energía utilizada en equipos de producción, sistemas de inspección, iluminación, climatización y transporte durante los procesos de corrección. Cada reproceso no solo duplica el consumo energético inicial, sino que también genera ineficiencias adicionales en la cadena productiva.

La literatura técnica sobre costos de calidad vista desde la perspectiva Lean y la eficiencia energética, destaca el impacto significativo de las correcciones en el consumo total de energía de una planta. Los principios Lean promueven la implementación de sistemas

Poka-Yoke (a prueba de errores) y control de calidad en la fuente para prevenir defectos y, por ende, eliminar el consumo energético asociado a su corrección.

La integración de Lean Manufacturing en la gestión energética propone soluciones como el monitoreo en tiempo real del consumo energético, el mantenimiento productivo total (TPM) y la estandarización de procesos. En el marco de esta tesis, es fundamental considerar cómo la implementación de herramientas Lean como las previamente mencionada y de los Sistemas de Gestión de Energía (SGE) basados en la norma ISO 50001 puede minimizar el muda de corrección, optimizando el uso energético y mejorando el desempeño global de la fábrica (Pascal, 2015).

4.2.3.2.1.5. Sobreprocesamientos (Overprocessing)

En el contexto de Lean Manufacturing y la gestión energética industrial, el sobreprocesamiento representa un desperdicio significativo de energía al realizar procesos más allá de los requerimientos del cliente. Este desperdicio energético ocurre frecuentemente en empresas donde las decisiones técnicas predominan sobre las necesidades reales del mercado.

El sobreprocesamiento impacta directamente en el consumo energético a través de:

- Uso innecesario de equipos y maquinaria
- Procesos más extensos o complejos de lo requerido
- Especificaciones técnicas sobredimensionadas
- Operaciones que no agregan valor desde la perspectiva energética

La aplicación de Lean Manufacturing en la gestión energética busca identificar y eliminar estos excesos. Por ejemplo, cuando una línea de producción opera con especificaciones técnicas más exigentes de lo necesario, no solo se desperdician recursos materiales, sino que se incrementa significativamente el consumo energético sin generar valor adicional para el cliente.

4.2.3.2.1.6. Inventario (Inventory)

El desperdicio por inventario representa un consumo energético significativo asociado al almacenamiento innecesario de materias primas, componentes y material en proceso (WIP). Este desperdicio se intensifica cuando el flujo de producción no está sincronizado

con la demanda del mercado y se opera bajo sistemas de empuje (Push) en lugar de sistemas pull.

El impacto energético del inventario excesivo se manifiesta en múltiples formas. Los sistemas de producción basados únicamente en MRP (Planificación de Requerimiento de Materiales) donde la producción se programa y avanza en cada departamento sin considerar las necesidades inmediatas del siguiente proceso en la cadena, tienden a generar acumulaciones significativas de inventario. Como resultado, los trabajadores y supervisores producen excedentes “por si acaso”, lo que genera acumulación de WIP y un desperdicio considerable.

Desde la perspectiva de la gestión eficiente de la energía, el *muda* de inventario representa un consumo innecesario de recursos energéticos en varios niveles. lo que resulta en un mayor consumo energético para:

- Iluminación y climatización de áreas de almacenamiento
- Operación de equipos de manejo de materiales
- Sistemas de conservación y control de inventarios
- Energía consumida en la producción adelantada

La desconexión entre la producción programada y las necesidades reales del proceso downstream genera una acumulación de WIP que implica:

- Mayor consumo energético en áreas de almacenamiento temporal
- Energía adicional para mantener productos semiterminados
- Consumo en sistemas de control y seguimiento de WIP
- Pérdidas energéticas por deterioro o obsolescencia

La implementación de herramientas Lean, como el sistema de producción basado en el flujo *pull* y el uso de técnicas como *justo a tiempo* (Just-In-Time), permite sincronizar la producción con la demanda real del mercado, eliminando el exceso de inventarios. Al combinar estos enfoques con un Sistema de Gestión de Energía (SGE) alineado con la norma ISO 50001, es posible reducir significativamente el consumo energético asociado al manejo de inventarios, optimizando los recursos y mejorando la sostenibilidad de las operaciones industriales.

4.2.3.2.1.7. Sobreproducción (Overproduction)

"La sobreproducción y su impacto en la eficiencia energética industrial constituye uno de los desperdicios más críticos identificados por Lean Manufacturing. Según Taiichi Ohno, este representa la raíz de todos los males en la manufactura, particularmente desde la perspectiva del consumo energético.

El impacto energético de la sobreproducción se manifiesta en múltiples aspectos:

- Consumo energético en almacenes grandes (iluminación, climatización, conservación, sistemas de seguridad – monitoreo - vigilancia)
- Energía desperdiciada en operación de máquinas y equipos innecesarios
- Consumo innecesario de piezas, materiales y energía (electricidad, combustibles, etc.).
- Consumo adicional en manejo de materiales y productos no demandados
- Gasto energético en equipos de transporte y almacenamiento
- Energía utilizada en la preservación de inventario excedente

La sobreproducción actúa como catalizador o causa raíz de otros desperdicios (mudas) energéticos:

- Movimiento: Consumo energético en actividades que no agregan valor
- Espera: Pérdidas energéticas por lotes grandes de producción
- Transporte: Gasto energético en movimiento de productos no requeridos
- Corrección: Mayor consumo en detección y corrección de defectos
- Inventario: Energía desperdiciada en mantener excesos de materiales y WIP

4.2.3.2.1.8. Conocimiento (Knowledge)

El muda de conocimiento ocurre cuando existen desconexiones internas dentro de una empresa o entre esta y sus clientes y proveedores. Estas desconexiones pueden ser horizontales (entre departamentos), verticales (entre niveles jerárquicos) o temporales (desfases en los tiempos y procesos). Estas brechas dificultan el flujo de conocimiento, ideas y creatividad, generando frustración, pérdida de oportunidades y, en muchos casos, decisiones que no favorecen la eficiencia de los recursos, incluidos los energéticos.

Cuando una empresa no está alineada internamente o no responde adecuadamente a la voz del cliente, corre el riesgo de desarrollar productos o procesos que no satisfacen las necesidades reales del mercado. Además, la falta de sintonía con los proveedores puede limitar la identificación conjunta de muda y la implementación de mejoras que beneficien a ambas partes. La ausencia de estas conexiones reduce la capacidad de la empresa para innovar y optimizar sus operaciones, lo que puede resultar en un consumo energético innecesario o excesivo.

En el contexto de la gestión eficiente de la energía en fábricas, este tipo de muda tiene un impacto significativo. La falta de comunicación y alineación puede llevar a operaciones redundantes, duplicidad de esfuerzos y consumo energético elevado en procesos que podrían ser simplificados o eliminados. Por ejemplo, decisiones de compra mal informadas o procesos no sincronizados entre departamentos pueden generar el uso innecesario de equipos energéticamente intensivos.

El enfoque Lean Manufacturing aborda este problema promoviendo la alineación interna y externa de todos los actores en la cadena de valor. Herramientas como el mapeo de flujo de valor (Value Stream Mapping) permiten identificar los puntos críticos donde se generan desperdicios de conocimiento y facilitar la integración de procesos para mejorar la eficiencia.

Womack y Jones introducen el concepto de “macro flujo de valor” (macro value stream) (Womack & Jones, 2008), destacando las oportunidades de mejora tanto aguas arriba (con proveedores) como aguas abajo (con clientes) en la cadena de suministro. Al aplicar este enfoque a la gestión de la energía, las empresas pueden optimizar el uso energético no solo dentro de la planta, sino también en colaboración con sus socios estratégicos, maximizando la sostenibilidad y reduciendo los costos asociados.

Aprender a identificar el desperdicio es solo el primer paso. El sistema Lean va más allá de simplemente buscar muda (desperdicios). La gestión energética eficiente en manufactura debe enfocarse en objetivos positivos concretos.

Uno de los principales objetivos es establecer un flujo continuo en los procesos de producción, que permita al cliente establecer el ritmo de producción mediante sistemas

pull, optimizando así el consumo energético. La estabilidad de los procesos es fundamental para que cualquier impedimento en el flujo y variación en el consumo de energía sea inmediatamente visible.

Las técnicas de gestión visual son esenciales para detectar rápidamente condiciones fuera de estándar, incluyendo desviaciones en parámetros energéticos críticos. El involucramiento activo del personal es crucial, ya que son la fuente principal de mejora continua en la optimización de procesos y eficiencia energética. La implementación exitosa de Lean Manufacturing para la gestión energética requiere un enfoque sistemático que combine la eliminación de desperdicios con estos elementos positivos, creando una cultura de mejora continua enfocada en la sostenibilidad operativa.

El desperdicio de energía debe ser medido, monitoreado y controlado de manera rigurosa por las empresas. En un entorno empresarial altamente competitivo, los sistemas de gestión están sometidos a una presión constante para incrementar la productividad y reducir los desperdicios, incluido el energético. Por ello, los altos directivos deben percibir el desperdicio de energía como un obstáculo significativo para alcanzar mayores beneficios, lo que los impulsa a priorizar mejoras en el rendimiento energético de sus fábricas. Es fundamental identificar y comprender los potenciales desperdicios asociados al consumo ineficiente de energía. Una vez definidas y caracterizadas las ocho mudas del sistema Lean, y basándose en la experiencia del autor, en la Tabla 4 se presentan los principales desperdicios energéticos identificados en empresas del sector manufacturero en Colombia, clasificados según cada una de las ocho categorías de muda.

Tipo de desperdicio (muda)	Uso de energía
1. Movimiento	• **Desplazamientos innecesarios de operarios:** Consumo extra de iluminación, refrigeración y climatización en áreas de tránsito que podrían evitarse con un mejor layout. • **Movimientos repetitivos ineficientes:** Mayor fatiga del trabajador que resulta en tiempos muertos de máquinas energizadas que no pueden ser detenidas. • **Distribución inadecuada de estaciones de trabajo:** Equipos encendidos por más tiempo mientras esperan materiales o componentes de áreas distantes. • **Manipulación excesiva de materiales:** Uso innecesario de montacargas y equipos de transporte que consumen energía.

	• **Posturas incorrectas:** Generan retrabajos que implican doble consumo energético de máquinas y equipos. • **Diseño deficiente de puestos**: Iluminación excesiva o mal direccionada para compensar alcances difíciles. • **Secuencia de operaciones ineficiente:** Equipos en espera energizados por mala coordinación de movimientos. • **Herramientas mal ubicadas:** Mayor tiempo de operación de máquinas mientras el operario busca o alcanza herramientas.
2. Espera	• **Energía consumida por maquinaria en espera:** Equipos y máquinas que permanecen encendidos durante tiempos de inactividad, consumiendo electricidad sin realizar actividades productivas. • **Iluminación y climatización innecesaria:** Uso continuo de iluminación y sistemas de calefacción, ventilación o aire acondicionado (HVAC) en áreas de trabajo donde los procesos están detenidos. • **Pérdida de energía en sistemas auxiliares:** Sistemas como compresores de aire, bombas hidráulicas o extractores que funcionan durante tiempos de espera sin aportar valor directo a la producción. • **Consumo energético en procesos detenidos:** Demoras en las líneas de producción debido a la espera de piezas de otras etapas, que extienden el tiempo total de producción, incrementando el uso de energía de manera innecesaria. • **Ineficiencia en el arranque y apagado de equipos:** Equipos que requieren grandes cantidades de energía al reiniciarse tras largos periodos de espera, especialmente si no se optimizan los ciclos de encendido y apagado. • **Almacenamiento en frío innecesario:** Operaciones de refrigeración sobredimensionadas que permanecen activas mientras los productos o materiales esperan ser procesados o trasladados, generando consumo excesivo de energía. • **Tiempos muertos en líneas de transporte interno:** Sistemas de transporte como bandas, montacargas o vehículos eléctricos que permanecen activos mientras esperan que otros procesos finalicen • **Consumo innecesario en sistemas de control y monitoreo**: Dispositivos electrónicos o sensores que operan continuamente sin ajustes dinámicos durante los tiempos de espera.
3. Transporte	• **Sistemas de transporte sobredimensionados:** Bandas transportadoras y elevadores que operan continuamente con capacidad subutilizada. • **Distancias excesivas entre procesos:** Mayor consumo en equipos de transporte y sistemas de iluminación/climatización de áreas intermedias. • **Lotes grandes:** Uso intensivo de montacargas eléctricos y equipos de manipulación por movimiento de materiales en grandes cantidades, que usualmente quedan en stock.

	• **Flujo discontinuo:** Equipos de transporte operando intermitentemente con tiempos muertos energizados. • **Layout ineficiente:** Rutas de transporte largas o indirectas que aumentan el tiempo de operación de equipos. • **Múltiples manipulaciones:** Uso repetido de equipos de elevación y transporte por reubicación de materiales. • **Almacenamiento temporal:** Energía consumida en iluminación y climatización de áreas de almacenamiento transitorio. • **Sistemas de seguimiento:** Consumo adicional en sistemas de monitoreo y control para grandes distancias de transporte.
4. Corrección (Defectos)	• **Doble consumo energético:** Energía utilizada en producción inicial defectuosa más energía en reproceso. • **Equipos de inspección:** Consumo constante en sistemas de detección y verificación de calidad. • **Áreas de reproceso:** Iluminación y climatización adicional en zonas dedicadas a correcciones. • **Máquinas en espera:** Equipos energizados mientras esperan material para reprocesar o reprocesado para continuar con su flujo de fabricación natural. • **Transporte extra:** Energía consumida en mover productos defectuosos a zonas de reparación. • **Pruebas adicionales:** Consumo en equipos de prueba para verificar correcciones. • **Sistemas auxiliares:** Aire comprimido, refrigeración y otros servicios duplicados. • **"Scrap":** Energía perdida en productos que no pueden ser reparados.
5. Sobre procesamiento	• **Equipos sobredimensionados:** Máquinas con capacidades excesivas que consumen más energía de la necesaria. • **Procesos innecesarios:** Energía consumida en operaciones que no agregan valor al cliente. • **Especificaciones excesivas:** Mayor consumo en equipos de precisión para tolerancias innecesarias debido que superan los requerimientos del cliente. • **Sistemas de control complejos:** Energía adicional en monitoreo y control de parámetros no críticos que no agregan valor. • **Acabados superfluos:** Consumo extra en procesos estéticos no valorados y por los que el cliente no está dispuesto a pagar. • **Pruebas redundantes:** Energía gastada en verificaciones más allá de lo requerido. • **Automatización excesiva:** Consumo constante en sistemas automatizados para funciones no esenciales. • **Calibración frecuente:** Energía en ajustes de precisión innecesaria.
6. Inventario	**1. Sistemas de Climatización y Control Ambiental:** • Consumo excesivo en sistemas HVAC para mantener

	temperaturas adecuadas en grandes áreas de almacenamiento • Energía dedicada al control de humedad para preservar materias primas y productos sensibles • Climatización de espacios sobre debido a inventario mal distribuido **2. Iluminación y Sistemas Eléctricos:** • Gasto energético en iluminación de áreas de almacenamiento sobredimensionadas • Consumo constante en sistemas de seguridad y monitoreo para vigilar inventario excesivo • Energía utilizada en sistemas automatizados de almacenamiento para material innecesario **3. Equipo de Manejo de Materiales:** • Consumo de energía en montacargas y equipos de transporte moviendo inventario innecesario • Desgaste y consumo energético de bandas transportadoras y sistemas automatizados • Operación de equipos de elevación y sistemas de almacenamiento vertical **4. Sistemas de Preservación y Calidad:** • Energía consumida en sistemas de refrigeración para materiales perecederos • Consumo en equipos de control de calidad para inspección de inventario estancado • Energía utilizada en sistemas de ventilación para prevenir deterioro **5. Procesamiento de Información:** • Consumo energético en servidores y sistemas informáticos para gestionar exceso de inventario • Energía utilizada en equipos de escaneo y trazabilidad • Sistemas de control y monitoreo operando continuamente
7. Sobreproducción	**6. Desperdicios en Almacenamiento:** • Consumo energético en iluminación de almacenes sobredimensionados • Energía utilizada en sistemas de climatización de áreas de almacenaje • Consumo en sistemas de ventilación de espacios excedentes • Energía requerida para conservación de productos almacenados **7. Desperdicios en Equipos y Maquinaria** • Consumo innecesario por operación de máquinas sobreutilizadas • Energía desperdiciada en equipos funcionando en vacío • Gasto energético en mantenimiento de maquinaria extra • Consumo por sistemas auxiliares operando sin necesidad

	8. Desperdicios en Manejo de Materiales • Energía consumida en montacargas y equipos de transporte • Consumo por sistemas de bandas transportadoras sobreutilizadas • Gasto energético en elevadores y sistemas de manipulación • Energía utilizada en sistemas de embalaje y empaque extra **9. Desperdicios en Calidad y Control** • Energía consumida en inspección de lotes sobredimensionados • Consumo en sistemas de control de calidad adicionales • Gasto energético en reprocesos por detección tardía de defectos considerando los volúmenes de producción • Energía utilizada en pruebas y verificaciones extras **10. Desperdicios en Sistemas Auxiliares** • Consumo en sistemas informáticos de control de inventario • Energía utilizada en iluminación de áreas de inspección • Gasto energético en sistemas de seguridad adicionales • Consumo por equipos de aire comprimido operando continuamente **11. Desperdicios por Deterioro** • Energía perdida en productos que se vuelven obsoletos • Consumo en sistemas de preservación de inventario excesivo • Gasto energético en tratamiento de materiales deteriorados • Energía desperdiciada en productos que nunca se venderán"
8. Desperdicio de conocimiento	• **Falta de sincronización en la operación de equipos:** La ausencia de comunicación efectiva entre departamentos puede generar descoordinación, haciendo que algunos equipos permanezcan encendidos sin ser utilizados. • **Decisiones energéticas ineficientes:** La falta de conocimiento compartido entre áreas puede llevar a que se utilicen equipos o procesos energéticamente intensivos cuando hay alternativas más eficientes disponibles. • **Retrasos en la implementación de mejoras energéticas:** La falta de intercambio de ideas y experiencias entre los empleados y los equipos de gestión retrasa la identificación de oportunidades para optimizar el consumo energético. • **Falta de capacitación energética:** Si los empleados no entienden cómo sus acciones impactan el consumo energético, podrían operar máquinas o sistemas de

	manera ineficiente, aumentando los desperdicios. • **Pérdida de datos energéticos valiosos:** La mala gestión o el desconocimiento sobre cómo recopilar y analizar datos relacionados con el consumo energético impide la toma de decisiones informadas para mejorar la eficiencia. • **Repetición de errores energéticos:** La falta de documentación o comunicación sobre fallos energéticos pasados lleva a repetir los mismos errores, generando un consumo adicional innecesario. • **Subutilización de herramientas Lean y tecnológicas:** Si no se comparte el conocimiento sobre el uso de herramientas como el mapeo de flujo de valor (Value Stream Mapping) o sistemas de gestión energética, no se aprovechan completamente estas tecnologías para optimizar el consumo energético. • **Incompatibilidad entre departamentos:** Las desconexiones entre áreas, como producción y mantenimiento, pueden provocar que los sistemas trabajen en horarios desalineados, generando tiempos muertos y uso excesivo de energía. • **Falta de estandarización en procedimientos energéticos:** La ausencia de estándares claros sobre el uso energético eficiente lleva a inconsistencias en la operación, aumentando el consumo innecesario. • **Desconocimiento de políticas y metas energéticas:** Si los empleados no están informados sobre los objetivos de eficiencia energética de la empresa, es menos probable que contribuyan activamente a reducir el consumo.

Tabla 4: Consumo de energía oculto en desperdicios Lean

Fuente: Elaboración propia

4.2.3.2.2. Mura

Mura se refiere a la irregularidad o fluctuación en el trabajo, generalmente causada por planes de producción inconsistentes. Estas variaciones pueden manifestarse en la carga de trabajo, la complejidad de los productos o los tiempos de operación, lo que provoca desequilibrios significativos en los procesos.

Un ejemplo sencillo de mura podría ser una línea de producción que fabrica modelos complejos durante la primera mitad de un turno y modelos más simples en la segunda mitad. En este escenario, los trabajadores y las máquinas se esfuerzan al máximo durante una parte del turno, mientras que operan por debajo de su capacidad durante la otra. Este patrón no solo afecta la productividad, sino que también resulta en un uso ineficiente de los recursos energéticos.

En el contexto de la gestión de la energía, el mura genera fluctuaciones en el consumo energético. Por ejemplo, durante los picos de trabajo, las máquinas pueden operar cerca de sus límites, incrementando el consumo de electricidad y aumentando las posibilidades de fallos o interrupciones. Por el contrario, en los periodos de menor carga, los equipos pueden permanecer subutilizados, pero consumiendo energía de forma innecesaria. Este

El sistema Lean aborda el mura mediante la técnica de heijunka, o nivelación de la producción. Este enfoque busca equilibrar las cargas de trabajo mezclando modelos o tipos de productos a lo largo del turno, en lugar de concentrar la complejidad o la demanda en un solo periodo. Al implementar heijunka, las fábricas pueden mantener un flujo más constante de trabajo, lo que reduce las tensiones en los equipos y trabajadores y optimiza el uso de los recursos energéticos.

4.2.3.2.3. Muri

Muri se traduce como "difícil de hacer" y se refiere a la sobrecarga o esfuerzos excesivos impuestos a trabajadores, equipos o sistemas. Este problema puede surgir de variaciones en la producción, diseños de trabajo deficientes, falta de ergonomía, piezas mal ajustadas, herramientas o plantillas inadecuadas, especificaciones poco claras, entre otros factores.

En el contexto de la gestión de la energía en una fábrica, el muri tiene un impacto significativo. La sobrecarga en las máquinas, derivada de procesos mal diseñados o del uso de herramientas ineficaces, aumenta el consumo de energía debido al esfuerzo adicional requerido para completar las tareas. Asimismo, los equipos que operan fuera de sus condiciones óptimas suelen consumir más energía eléctrica y están más propensos a fallas, lo que incrementa la necesidad de mantenimiento y los costos asociados.

Por otro lado, el muri también afecta a los trabajadores. Condiciones laborales inadecuadas, como movimientos repetitivos, posturas forzadas o herramientas poco ergonómicas, reducen la productividad y pueden aumentar los tiempos de operación, prolongando el uso de recursos energéticos.

El enfoque Lean Manufacturing ofrece herramientas para identificar y eliminar el muri, mejorando tanto la eficiencia operativa como la energética. Por ejemplo, al rediseñar las

estaciones de trabajo con principios ergonómicos y garantizar que las herramientas y plantillas sean adecuadas, se minimiza el esfuerzo innecesario y se optimiza el consumo energético.

A continuación, se presenta una representación gráfica (Ver Figura 27), basada en la teoría de (Pascal, 2015) donde se presenta la relación entre Muda, Muda y Muri en el contexto de la eficiencia energética industrial de acuerdo con la siguiente situación:

Problema: ¿Cuál es la forma más eficiente de trasladar una carga total de 6000 kg desde el punto A al punto B utilizando una banda transportadora con una capacidad máxima de 2000 kg y garantizando un consumo energético óptimo?

Condiciones: Según el fabricante, la banda transportadora tiene un consumo estándar de 1 [A.min] bajo condiciones normales. Sin embargo, cualquier sobrecarga incrementa el consumo energético en 1.5 veces y reduce la velocidad a la mitad por cada 1000 kg adicionales transportados. El objetivo es determinar la estrategia de transporte que minimice el consumo de energía eléctrica, respetando las especificaciones del equipo y evitando su desgaste prematuro.

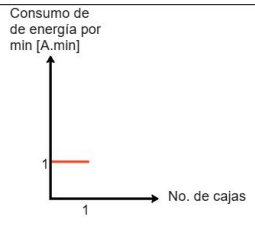
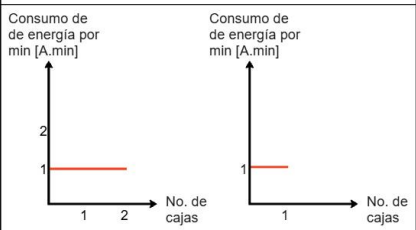
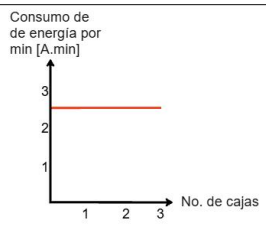
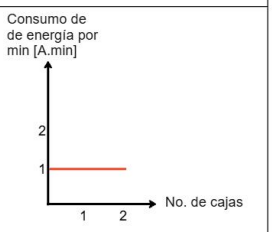
MUDA (Desperdicio)	MURA (Irregularidad)	MURI (Sobrecarga)	Óptimo
	 		
6 viajes @ 1000 kg	2 viajes @ 2000 kg 2 viajes @ 1000 kg	2 viajes @ 3000 kg	3 viajes @ 2000 kg
			
Consumo total de energía= 6 X 1[A.min] = **6 [A.min]**	Consumo total de energía= 2 X 1[A/min] + 2 X 1[A/min] = **4 [A/min]**	Consumo total de energía= 2 X (2.5 [A/min] *(2) = **10 [A/min]** Se multiplica por dos considerando que la sobrecarga implica que la velocidad de la banda disminuya a la mitad	Consumo total de energía = 3 X 1[A/min] = **3 [A/min]**

Figura 27: Muda, mura y muri
Fuente: Elaboración propia, basada (Pascal, 2015)

4.2.3.4. Principales elementos de Lean Manufacturing

Tras analizar los desafíos que Lean Manufacturing aborda y examinar los principales tipos de desperdicios en un proceso productivo típico, en el siguiente capítulo se desarrolla en profundidad los seis pilares fundamentales que conforman la estructura conceptual de la "Casa Lean" (ver Figura 23):

1. Estabilidad (Stability)
2. Estandarización (Standardization)
3. Justo a Tiempo (Just-In-Time)
4. Jidoka
5. Enfoque en el Cliente (Customer Focus)
6. Participación (Involvement)

En este capítulo se incluirá una descripción detallada de los principales elementos que integran cada uno de estos componentes de acuerdo con (Pascal, 2015). Sin embargo, si bien el modelo tradicional de la "Casa Lean" se enfoca en la optimización y la mejora en la calidad de los procesos productivos, esta investigación adapta sus principios para priorizar la gestión eficiente de recursos energéticos. Esta perspectiva innovadora permite aplicar las herramientas Lean para desarrollar estrategias de sostenibilidad energética, estableciendo una sinergia entre la filosofía de mejora continua y los requerimientos de los Sistemas de Gestión de Energía bajo la norma ISO 50001.

4.2.3.3.1. Estabilidad

De acuerdo con (Pascal, 2015) la mejora resulta inalcanzable sin establecer primero una base sólida de estabilidad en las cuatro M fundamentales. Esta estabilidad constituye el cimiento sobre el cual se puede construir un sistema de gestión energética efectivo y sostenible

1. Mano de obra
2. Máquina
3. Material
4. Método.

Durante el proceso de estabilización, en ocasiones es necesario implementar medidas temporales que, aunque pueden parecer contrarias a los principios Lean, resultan estratégicas para la optimización energética. Estas acciones pueden incluir el incremento la incorporación de personal especializado en gestión energética o la adición de equipos de monitoreo. Estas medidas provisionales proporcionan el margen temporal necesario para identificar y resolver las causas raíz de la ineficiencia energética, mientras se mantiene el compromiso de suministro energético con los procesos internos y externos.

El camino hacia la estabilidad energética comienza con la implementación de sistemas de gestión visual y la metodología 5S adaptada al contexto energético. Este sistema fundamental sostiene dos pilares cruciales para la eficiencia energética: el trabajo estandarizado y el mantenimiento productivo total (TPM). El trabajo estandarizado asegura la consistencia en los procedimientos de gestión energética, mientras que el TPM garantiza la operación óptima y energéticamente eficiente de los equipos. La implementación del sistema 5S, además, facilita la producción justo a tiempo (JIT) mediante la disponibilidad de información energética en tiempo real en los puntos de uso. Esto permite una toma de decisiones más ágil y fundamentada en cuanto al consumo energético, contribuyendo a la optimización global del sistema productivo y a la reducción de desperdicios energéticos.

4.2.3.3.1.1. Lean System Standards

La gestión energética eficiente se fundamenta en la implementación de estándares claramente definidos que establecen los parámetros óptimos de operación. La excelencia en el consumo energético se logra a través de la adherencia rigurosa a estos estándares. Sin embargo, es común encontrar que muchas organizaciones asocian los estándares con manuales complejos y documentación excesiva, similar a las regulaciones gubernamentales que resultan prácticamente inaccesibles por su complejidad. Para comprender mejor este enfoque, es fundamental responder tres preguntas clave:

1. **¿Qué es un estándar?:** Un estándar energético representa una imagen clara de la condición deseada en términos de consumo y eficiencia energética. Esto implica establecer parámetros precisos y medibles para el uso óptimo de la energía en cada proceso productivo.

2. **¿Por qué los estándares son importantes en un sistema Lean?** los estándares son cruciales en el sistema Lean porque permiten identificar inmediatamente cualquier desviación en el consumo energético esperado. Esta visibilidad instantánea de anomalías facilita la implementación oportuna de acciones correctivas, previniendo el desperdicio energético y optimizando el consumo.
3. **¿Qué hace efectivo a un estándar?:** La efectividad de un estándar energético radica en su simplicidad, claridad y naturaleza visual. Un buen estándar energético debe ser fácilmente comprensible para todos los niveles de la organización, presentando la información de manera visual y accesible para facilitar su implementación y seguimiento constante.

En japonés, el término "estándar" carece de las connotaciones negativas asociadas en otros contextos. Un estándar se define como una base para la comparación, un medio para hacer evidente una condición fuera del estándar y, a partir de ello, implementar medidas correctivas. Este enfoque es especialmente relevante en la gestión eficiente de la energía en una fábrica, ya que permite identificar rápidamente desviaciones que impacten el consumo energético.

Un estándar puede tomar diversas formas, como:

- Un gráfico de trabajo estandarizado en una sola página que indique cómo probar un equipo al finalizar su proceso productivo
- Una silueta pintada en la pared de un taller de ensamble para señalar dónde deben colocarse las herramientas y dispositivos.
- Un tablero de programación de entregas en un muelle de recepción que muestre las entregas esperadas y cuáles han llegado a tiempo.
- Una pantalla visual en el departamento de desarrollo de nuevos productos que muestre la capacidad del departamento, los objetivos de rendimiento y tiempo de ciclo, la carga actual de proyectos, la fase en la que se encuentra cada proyecto y los principales problemas identificados.

En el sistema Lean, los estándares están directamente vinculados a la acción. Un extenso manual almacenado en un estante tiene poco impacto en la operación diaria. Sin

embargo, una imagen clara ubicada en el punto de uso tiene un impacto significativo. Esto es especialmente relevante en una fábrica orientada a la gestión eficiente de la energía, ya que facilita la identificación y corrección de ineficiencias de manera inmediata.

A modo de ejemplo consideremos un estándar de calidad, por ejemplo, para el acabado de pintura. Los diferentes tipos de estándares y su nivel de efectividad pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Una descripción escrita guardada en el escritorio del supervisor o en la intranet de la compañía: **bajo impacto**.
- Una imagen publicada en el lugar de trabajo: **impacto mayor**.
- Una muestra real, quizá en unas probetas que muestren tanto las condiciones adecuadas como las inadecuadas en el punto de uso: **máximo impacto** (Ver Figura 28).



Figura 28: Muestras estándar para aplicación de pintura
Fuente: Elaboración propia

Este enfoque refuerza el concepto de gestión visual, una herramienta poderosa para mejorar la eficiencia energética al garantizar que los estándares sean claros, visibles y accionables. En el contexto de una fábrica, la gestión visual permite a los trabajadores identificar rápidamente desviaciones en el consumo de energía o en las condiciones operativas, promoviendo acciones inmediatas para mantener la eficiencia energética y reducir el desperdicio.

4.2.3.3.1.2. Visual Management

La gestión visual desempeña un papel crucial en la mejora continua y la eficiencia energética en el contexto de la industria manufacturera. Michel Greif, en su obra The Visual Factory, define el triángulo de gestión visual como una herramienta esencial para fomentar la participación del equipo y promover la acción correctiva (Greif, 1991). Los controles visuales, como los paneles de indicadores o gráficos de flujo, permiten que el personal esté al tanto de los objetivos y del desempeño real de los procesos, lo que facilita la identificación inmediata de cualquier desvío que pueda implicar un consumo energético excesivo.

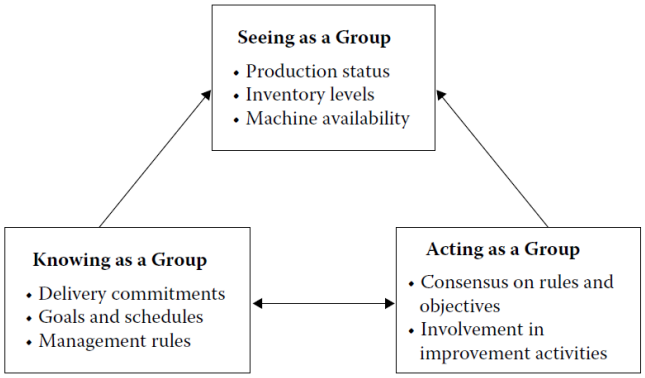


Figura 29: Triangulo de control visual
Fuente: (Greif, 1991)

Uno de los errores más comunes en la adopción de sistemas de gestión moderna ha sido la sustitución de controles visuales tradicionales, como los cronogramas en las paredes, por sistemas informáticos que carecen de una interfaz pública y visible. En un entorno de manufactura enfocado en la eficiencia energética, la clave es combinar el uso de tecnologías digitales con una visualización efectiva de la información en el lugar de producción. La implementación de tableros luminosos y gráficos que muestren el consumo energético en tiempo real, los niveles de inventario y el flujo de producción contribuirá a un mejor control del uso de la energía, alineando la filosofía Lean con los objetivos del sistema de gestión energética basado en la norma ISO 50001. Esta estrategia garantiza no solo el cumplimiento de los estándares energéticos, sino también un entorno de trabajo más colaborativo y orientado a la mejora continua.

El enfoque Lean se basa en hacer visibles los problemas, ya que “no se puede mejorar lo que no se puede ver”. En el contexto de la gestión eficiente de la energía en una fábrica,

la gestión visual desempeña un papel fundamental para identificar y reducir el consumo excesivo de energía, además de optimizar los procesos operativos. A continuación, se describen los cuatro niveles de gestión visual, en orden creciente de efectividad, adaptados al entorno energético de una planta industrial:

NIVEL 1 – SOLO INFORMACIÓN (MENOR IMPACTO)

Un ejemplo típico de este nivel son los letreros que indican restricciones o advertencias, como “Apague las máquinas cuando no estén en uso”. Este tipo de gestión visual, aunque común, es de bajo impacto, ya que solo comunica una instrucción sin garantizar que se cumpla. En muchas organizaciones, la gestión visual se queda estancada en este nivel. Como advirtió Deming, este enfoque tiende a culpar al trabajador, trasladando la responsabilidad del consumo excesivo de energía a los operadores, en lugar de abordarlo desde la gestión estratégica.

NIVEL 2 – ALERTAS QUE CAPTAN LA ATENCIÓN

Este nivel introduce cambios que despiertan la atención de los trabajadores. Un ejemplo aplicado a la gestión energética sería el uso de indicadores luminosos que cambian de color según el nivel de consumo energético: verde para consumo óptimo, amarillo para consumo moderado y rojo para consumo excesivo. Este tipo de señalización es más efectiva porque mantiene al personal alerta ante el uso ineficiente de la energía y los motiva a actuar. Este enfoque promueve la cultura Lean, donde la conciencia constante del problema es clave para la mejora continua.

NIVEL 3 – ORGANIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO

El tercer nivel busca organizar el comportamiento de los trabajadores mediante soluciones visuales que guíen sus acciones. En el caso de la eficiencia energética, un ejemplo sería el diseño de estaciones de trabajo con posiciones específicas para interruptores y medidores de energía, de modo que el operario pueda verificar fácilmente el consumo antes de comenzar o detener un proceso. Otro ejemplo es el uso de sistemas que registran automáticamente el consumo de energía y muestran gráficos en tiempo real, permitiendo a los operarios identificar inmediatamente cualquier anomalía. Este tipo de gestión visual organiza el entorno y facilita la toma de decisiones correctivas.

NIVEL 4 – IMPOSIBILITAR EL DEFECTO (MAYOR IMPACTO)

Este nivel se relaciona con el concepto de poka-yoke, es decir, la implementación de dispositivos o procedimientos que hacen imposible el error y en consecuencia el consumo innecesario de energía. Un ejemplo clásico en una planta industrial es el uso de sensores inteligentes que apagan automáticamente las máquinas cuando no hay actividad durante un tiempo determinado, evitando el desperdicio de energía.

Otro ejemplo sería la instalación de sistemas automáticos de regulación de velocidad en motores y bandas transportadoras, que ajustan su consumo energético en función de la carga, eliminando la posibilidad de sobreconsumo por mal uso.

A medida que la fábrica avanza en su adopción de la filosofía Lean, la gestión visual debe evolucionar desde los niveles básicos (1 y 2) hacia los niveles más avanzados (3 y 4), donde no solo se detectan los problemas, sino que se diseñan soluciones preventivas que eliminan las ineficiencias energéticas de raíz.

Una vez dominados los primeros niveles, surge la pregunta clave: “Este problema energético ocurre repetidamente, ¿cómo podemos evitarlo definitivamente?”. La mejor fuente de ideas para desarrollar los niveles 3 y 4 son los trabajadores de primera línea, quienes interactúan constantemente con los equipos y procesos, por lo que su involucramiento total es fundamental.

4.2.3.3.1.3. 5S System

El sistema 5S, ampliamente conocido en el entorno Lean, es un método estructurado que consta de cinco pasos fundamentales:

1. Clasificar (Sort)
2. Ordenar (Set in order)
3. Limpiar e inspeccionar (Shine and inspect)
4. Estandarizar (Standardize)
5. Sostener (Sustain)

Aunque, a simple vista, el 5S pueda parecer un sistema básico de organización y limpieza, su correcta aplicación genera un impacto significativo en la mejora continua, la seguridad y, en particular, en el consumo eficiente de energía. En el contexto de esta

tesis, se propone su implementación como una estrategia para reducir el desperdicio energético y optimizar los recursos en una planta de manufactura.

4.2.3.3.1.3.1. S1 – Clasificar (Sort):

En un entorno industrial, el principio de "Clasificar" en el sistema 5S es clave para la gestión eficiente de la energía, ya que se centra en identificar y eliminar todo aquello que no contribuye al logro de los objetivos de producción. La acumulación de equipos, herramientas, materiales en proceso, mobiliario y otros elementos innecesarios genera desorden, interfiere en el flujo de trabajo y, en muchos casos, incrementa el consumo energético de manera indirecta.

Gestión “por si acaso” y su impacto energético

En muchas fábricas, existe una mentalidad de “por si acaso” que fomenta la acumulación de objetos antiguos o en desuso, como maquinaria obsoleta, estanterías adicionales y materiales sobrantes. Aunque esta mentalidad busca prevenir futuras necesidades, termina ocasionando un aumento del consumo energético, ya que:

- Equipos obsoletos siguen conectados, consumiendo energía de manera innecesaria.
- Sistemas de almacenamiento adicionales requieren más iluminación y, en algunos casos, más climatización.
- El desorden dificulta la identificación de fugas de energía o equipos ineficientes, lo que retrasa las acciones correctivas.

Esta situación puede derivar en una falsa percepción de que se necesita más espacio físico, lo que a su vez conduce a la instalación de más sistemas de transporte interno, equipos de manipulación y mayores requerimientos de iluminación y climatización, aumentando el consumo energético global de la planta.

Técnica de etiquetado rojo (Red Tagging) como estrategia para reducir el consumo energético

El etiquetado rojo es una herramienta fundamental del paso S1 que ayuda a clasificar y eliminar lo innecesario de manera organizada. Este proceso implica identificar aquellos

elementos que no contribuyen a los objetivos productivos ni a la eficiencia energética, y apartarlos para su disposición final.

El procedimiento de etiquetado rojo se puede adaptar con un enfoque en la gestión energética de la siguiente manera:

1. **Definir los elementos necesarios para el proceso productivo y energético eficiente.** Cualquier equipo o material que no sea imprescindible debe ser etiquetado para su revisión.
2. **Establecer una zona de eliminación de etiquetado rojo.** Esta zona puede ubicarse cerca del área de reciclaje o disposición de residuos.
3. **Programar una pausa de revisión.** Durante este tiempo, los supervisores y el equipo de gestión energética deben evaluar los elementos etiquetados para decidir si se pueden reciclar, vender o se deben desechar.
4. **Explorar opciones de reciclaje y reutilización.** Muchos equipos obsoletos pueden ser desechados de manera responsable mediante programas de reciclaje industrial.
5. **Implementar un procedimiento de disposición de activos de capital.** Los equipos grandes que consumen energía, como compresores antiguos o motores ineficientes, deben ser eliminados mediante un proceso formal que permita hacer un seguimiento de los activos y evaluar el impacto en la eficiencia energética.
6. **Medir el impacto del etiquetado rojo.** Para evaluar el éxito del paso S1, se deben medir indicadores como:
    - La cantidad de equipos obsoletos eliminados que consumían energía.
    - El área de espacio liberado que ya no requiere iluminación ni climatización.
    - La reducción en el consumo energético gracias a la eliminación de equipos innecesarios u obsoletos.
7. **Comprometerse con el etiquetado rojo periódico.** Se recomienda realizar este proceso de manera regular, al menos una vez al año, o incluso semestralmente, para mantener el entorno limpio y libre de elementos que consuman energía innecesariamente.

El paso S1 del sistema 5S, cuando se implementa adecuadamente, no solo mejora el orden y la seguridad en el entorno de trabajo, sino que también contribuye de manera

directa a la eficiencia energética. Al eliminar equipos en desuso y reducir el desorden, se logra un entorno más limpio y visualmente accesible, lo que facilita la detección de oportunidades de ahorro energético, reduce la demanda de iluminación y mejora la ventilación de la planta. Además, este proceso fomenta una cultura organizacional enfocada en la mejora continua y la sostenibilidad, elementos fundamentales para la implementación exitosa de un Sistema de Gestión de la Energía basado en la norma ISO 50001.

4.2.3.3.1.3.2. Ordenar (Set in order)

Una vez que se ha completado el paso de clasificación (Sort) y se han eliminado los elementos innecesarios, el siguiente paso en la metodología 5S es organizar los recursos restantes (Set in Order) de manera que se minimicen los desperdicios de movimiento, tanto de materiales como de personas. Este enfoque no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también contribuye significativamente a la gestión eficiente de la energía en una fábrica, ya que una disposición optimizada puede reducir el consumo energético asociado a la manipulación de materiales, transporte / movimiento, iluminación y climatización.

El objetivo principal de este paso es organizar los equipos, herramientas y áreas de almacenamiento de manera racional para mejorar el flujo de materiales y evitar movimientos innecesarios, lo que a su vez disminuye el tiempo y la energía utilizados en los procesos. La estrategia recomendada para lograrlo consiste en:

1. **Seleccionar un área piloto**. Dibujar dos mapas del área en cuestión sobre dos hojas grandes:
    - Mapa de la situación actual (What Is). Representa la disposición actual de máquinas, herramientas, estanterías, pasillos y flujos de material.
    - Mapa de la situación ideal (What Could Be). Propone una nueva disposición orientada a reducir el desperdicio de movimiento y e consecuencia mejorar la eficiencia energética de la planta.
2. **Usar diagramas visuales**. Dibujar dos mapas del área en cuestión sobre dos hojas grandes:

- Colocar notas adhesivas que representen los distintos elementos del área, escaladas al tamaño correspondiente, sobre el mapa de la situación actual.
- Utilizar cordones o flechas rojas para indicar el flujo de materiales y personas. En la mayoría de los casos, esto generará un diagrama de "espagueti" (ver 4.2.3.3.1.3.2.1), evidenciando los recorridos complejos y poco eficientes que consumen más energía.

3. **Invitar al equipo a participar.**

Colocar un cartel junto al mapa de la situación actual para que los miembros del equipo puedan anotar los problemas detectados, sugerencias y contramedidas. Dejar el cartel visible durante al menos una semana para recopilar retroalimentación.

4. **Construir el mapa ideal.**
    - Elaborar el mapa de la situación ideal con base en la retroalimentación recibida y enfocarse en reducir los desperdicios de movimiento.
    - Representar nuevamente los flujos de material, esta vez optimizados.
    - Comparar ambos mapas: ¿se ha reducido el movimiento innecesario? ¿La nueva disposición propuesta es clara para todos? Dejar el nuevo mapa visible durante otra semana para seguir recibiendo comentarios del equipo.
5. **Validación del Diseño Propuesto**

Antes de proceder a la reubicación de los equipos y materiales, se recomienda hacer una validación práctica del diseño propuesto:

- Simulación del nuevo diseño.
    - En una zona vacía de la planta o en el estacionamiento (si el clima lo permite), dibujar el nuevo diseño en el suelo utilizando cinta o tiza.
    - Usar piezas de cartón para representar los equipos grandes.
    - Marcar con tiza de colores los flujos de materiales.
    - Simular los movimientos de materiales y personas para comprobar si el diseño propuesto es funcional y ergonómico.
    - Verificar si hay suficiente espacio para realizar el trabajo de manera segura y eficiente.
- Detección de mejoras adicionales.

Durante la simulación pueden surgir sorpresas o problemas no previstos. Aprovechar esta etapa para ajustar detalles y realizar mejoras antes de mover los equipos definitivamente. Una vez validados el diseño y los flujos, se puede proceder a la reorganización física del área de trabajo.

4.2.3.3.1.3.2.1. Diagrama de Espagueti

Para el desarrollo de la metodología descrita anteriormente, dentro de las herramientas lean existe una llamada “diagrama de espagueti” también conocido como gráfico de espagueti, modelo de espagueti o trazado de espagueti, es un método utilizado para visualizar el movimiento de un objeto dentro de un sistema, representado mediante una línea. El objeto en movimiento analizado puede ser un trabajador, un material, entre otros. El sistema donde se produce este movimiento puede ser un área de producción, una parte de un edificio o un taller. El nombre del diagrama se debe al resultado visual, que se asemeja a un plato de espagueti.

El concepto de análisis del movimiento de los trabajadores permite evaluar diversos aspectos relacionados con la eficiencia operativa. El primer aspecto consiste en trazar los movimientos de los trabajadores sobre el plano del área de trabajo, representándolos mediante líneas. Este enfoque se complementa con los siguientes elementos:

- **Número de movimientos realizados por los trabajadores**, clasificados según un esquema propio de clasificación.
- **Distancia recorrida en los movimientos**, calculada a partir de diversas fuentes, como datos dimensionales precisos obtenidos de los planos de diseño.

Otro aspecto relevante de este concepto es el **tiempo requerido para cada movimiento**, el cual puede registrarse directamente mediante la observación de las actividades en el lugar de trabajo. En caso de que el análisis se realice durante la etapa de diseño del proyecto, cuando no es posible obtener datos reales, se pueden utilizar estimaciones de tiempo basadas en datos previos o proyecciones (Senderská et al., 2017)..

Este enfoque integral permite no solo permite identificar ineficiencias en el flujo de trabajo, sino también optimizar el consumo energético mediante la reducción de desplazamientos innecesarios y la mejora del diseño del entorno laboral.

Para la elaboración del diagrama de espagueti, se ha propuesto el flujo de la de la Figura 30, basado en la descripción realizada previamente:

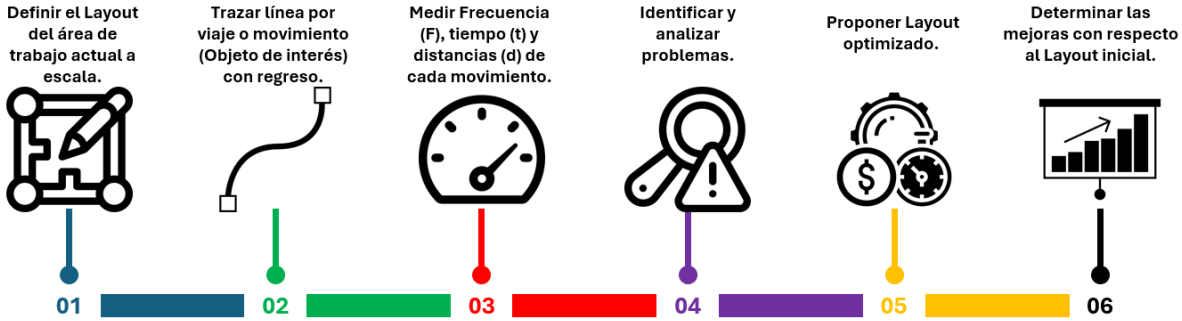


Figura 30: Flujo de elaboración de diagrama de espagueti
Fuente: Elaboración propia

Con el propósito de incorporar esta herramienta en un sistema de gestión de energía convencional, se ha diseñado una solución (Anexo 1 – Diagrama de espagueti - análisis) basada en el flujo descrito anteriormente. A continuación, se muestra un ejemplo práctico de su aplicación:

1. **Layout del área de trabajo actual a escala.**

   Con fines prácticos y a modo de ejemplo, se presenta el caso de una compañía dedicada a la fabricación de tableros eléctricos. La primera línea de producción de esta empresa incluye una banda transportadora, seis tornos, un almacén, una bodega de herramientas y una zona de inspección final, distribuidos como se muestra en la Figura 31:

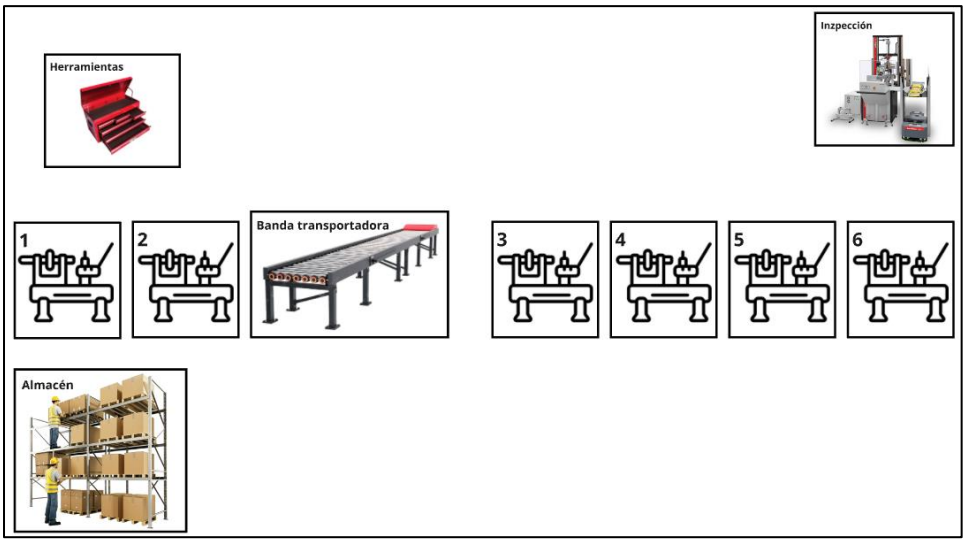


Figura 31: Layout básico línea de producción
Fuente: Elaboración propia

2. **Trazo de línea por viaje o movimiento (Objeto de interés) con regreso.**

   Se procederá a trazar las líneas de movimiento del objetivo, asegurando que se representen tanto los desplazamientos de ida como los regresos a los puestos de trabajo. Para un análisis completo, se tendrán en cuenta las siguientes variables de interés

   - **Frecuencia**
   - **Distancia**
   - **Tiempo**

   Este trazado permitirá identificar patrones, evaluar la eficiencia del flujo de trabajo y proponer mejoras que optimicen el consumo de energía asociado a los desplazamientos dentro del área de producción.

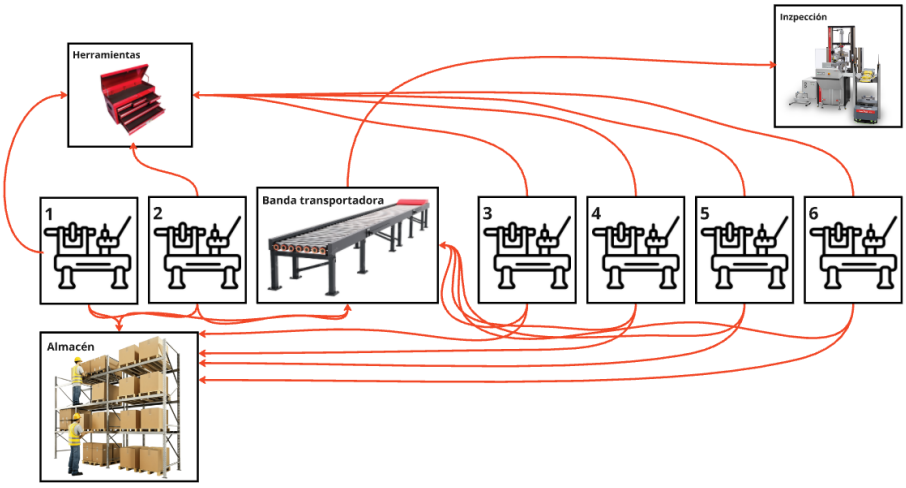


Figura 32: Trazado de movimientos en línea de producción
Fuente: Elaboración propia

3. **Medición de variables Frecuencia (F), tiempo (t) y distancias (d) de cada movimiento.**

   En este paso, se procede a medir las principales variables relacionadas con los movimientos realizados dentro de la fábrica. Estas mediciones son fundamentales para analizar el flujo de trabajo y su impacto en la eficiencia operativa y energética. A continuación, se describe cada una de las variables y el procedimiento para su medición:

- **Frecuencia (F): Número de movimientos realizados**

  La frecuencia corresponde a la cantidad de veces que un operador o material realiza un mismo desplazamiento en un periodo de tiempo determinado.

  Procedimiento: Se debe observar el proceso durante un turno completo o un tiempo representativo de la operación. Se registran todas las veces que un operador se desplaza de un punto a otro, por ejemplo, entre la zona de almacenamiento y el puesto de trabajo.

  Objetivo: Identificar los movimientos más frecuentes para priorizar mejoras en esas áreas y reducir el consumo energético derivado de los desplazamientos reiterados.

- **Tiempo (t): Duración de cada movimiento**

  El tiempo es una variable clave que permite evaluar la eficiencia de los desplazamientos y el impacto en la productividad.

  Procedimiento: Se utiliza un cronómetro o sistema automatizado para registrar la duración de cada desplazamiento desde el inicio hasta el regreso al punto de origen. Es importante medir tanto los movimientos de ida como de regreso.

  Objetivo: Detectar movimientos excesivamente largos que puedan estar afectando el flujo de trabajo y aumentando el tiempo de uso de equipos energéticamente intensivos, como bandas transportadoras o montacargas.

- **Distancia (d): Longitud recorrida**

  La distancia mide el trayecto total que recorre un operador o material durante cada desplazamiento.

  Procedimiento: Se mide la longitud de cada movimiento utilizando un plano a escala del área de trabajo o mediante dispositivos de medición, como decámetros podómetros o herramientas de mapeo. Incluso se suelen atar cuerdas a los operadores quienes siguen sus trayectos habituales, para posteriormente realizar la medición de estas

  Objetivo: Identificar trayectos innecesariamente largos que incrementen el tiempo de operación y el consumo energético, y evaluar la posibilidad de reubicar equipos o materiales para reducir estas distancias.

Las mediciones de cada una de las tres variables deben ser consolidadas para su análisis, para esto se ha desarrollado el anexo 1 “Diagrama de espagueti - análisis” (Ver Tabla 5).

Diagrama de espagueti inicial							
Inicio	**Fin**	**F**	**D [m]**	**T [min]**	**(F X D)[m]**	**(F X T)[min]**	**F X D X T[m.min]**
Banda	Inspección	50,00	4,50	1,13	225,00	56,25	253,13
CNC1	Almacén	2,00	3,00	0,75	6,00	1,50	4,50
CNC1	Herramienta	1,00	3,50	0,88	3,50	0,88	3,06
CNC1	Banda	10,00	3,00	0,75	30,00	7,50	22,50
CNC2	Almacén	2,00	4,50	1,13	9,00	2,25	10,13
CNC2	Herramienta	1,00	5,00	1,25	5,00	1,25	6,25
CNC2	Banda	10,00	1,50	0,38	15,00	3,75	5,63
CNC3	Almacén	2,00	7,50	1,88	15,00	3,75	28,13
CNC3	Herramienta	1,00	8,00	2,00	8,00	2,00	16,00
CNC3	Banda	10,00	1,50	0,38	15,00	3,75	5,63
CNC4	Almacén	2,00	9,00	2,25	18,00	4,50	40,50
CNC4	Herramienta	1,00	9,50	2,38	9,50	2,38	22,56
CNC4	Banda	10,00	3,00	0,75	30,00	7,50	22,50
CNC5	Almacén	2,00	10,50	2,63	21,00	5,25	55,13
CNC5	Herramienta	1,00	11,00	2,75	11,00	2,75	30,25
CNC5	Banda	10,00	4,50	1,13	45,00	11,25	50,63
CNC6	Almacén	2,00	12,00	3,00	24,00	6,00	72,00
CNC6	Herramienta	1,00	12,50	3,13	12,50	3,13	39,06
CNC6	Banda	10,00	6,00	1,50	60,00	15,00	90,00
TOTAL		**128,00**	**120,00**	**30,00**	**562,50**	**140,63**	**777,56**

Tabla 5: Resultado de la medición de variables del diagrama de espagueti inicial

Fuente: Elaboración propia

4. Identificación y análisis de problemas potenciales.

Una vez realizadas las mediciones de frecuencia, tiempo y distancia de los movimientos dentro de la fábrica, el siguiente paso es identificar y analizar los problemas que generan ineficiencias en el flujo de trabajo. El objetivo principal de este paso es detectar aquellos aspectos que contribuyen al desperdicio energético y a la pérdida de productividad, para posteriormente proponer mejoras que optimicen el consumo de energía. En el formato desarrollado es posible identificar de manera visual donde se encuentran las principales falencias del Layout y que

deben ser gestionadas. Las principales causas de los problemas suelen ser las siguientes:

1. **Diseño ineficiente del layout:** Disposición de equipos y estaciones de trabajo que obliga a realizar desplazamientos innecesarios.
2. **Falta de estandarización:** Procesos sin procedimientos claros que generan variabilidad en los movimientos y tiempos.
3. **Almacenamiento disperso:** Ubicación inadecuada de materiales, herramientas o productos que incrementa el tiempo y la distancia recorrida.
4. **Mala planificación de la producción:** Generación de órdenes de trabajo sin considerar un flujo lógico, lo que aumenta la frecuencia de movimientos y el uso de equipos de transporte.

5. Identificación y análisis de problemas potenciales.

Con base en el análisis realizado en los pasos anteriores, se elabora un nuevo esquema del área de trabajo que:

- Minimice los desplazamientos innecesarios. Los puntos de almacenamiento, herramientas y equipos deben estar ubicados lo más cerca posible de los puestos de trabajo.
- Optimice el flujo de materiales. Se debe garantizar un flujo continuo y lógico, evitando cruces o trayectos confusos que incrementen el uso de equipos de transporte y el tiempo de operación.
- Reduzca los tiempos de espera. Ubicar las estaciones de trabajo de manera que los procesos se realicen sin interrupciones, eliminando cuellos de botella y asegurando que los equipos funcionen de manera eficiente, evitando tiempos muertos que incrementen el consumo energético.

El nuevo layout debe considerar también elementos específicos que contribuyan a la eficiencia energética, tales como:

- Zonas de iluminación sectorizada. Diseñar el área de trabajo de manera que se utilicen sistemas de iluminación independientes para cada sección, permitiendo encender únicamente las zonas en uso.
- Distribución eficiente de equipos energéticamente intensivos. Colocar equipos como compresores, montacargas eléctricos o bandas

transportadoras en áreas estratégicas donde puedan operar de manera óptima, minimizando su tiempo de funcionamiento.

- Uso de sensores de movimiento. En zonas de almacenamiento o tránsito poco frecuente, implementar sensores que controlen automáticamente la iluminación y otros sistemas auxiliares.

A continuación, se presenta el Layout optimizado para el proceso de producción descrito anteriormente (ver Figura 33), así como el resultado de la medición de las variables posterior a su implementación (Ver Tabla 6):

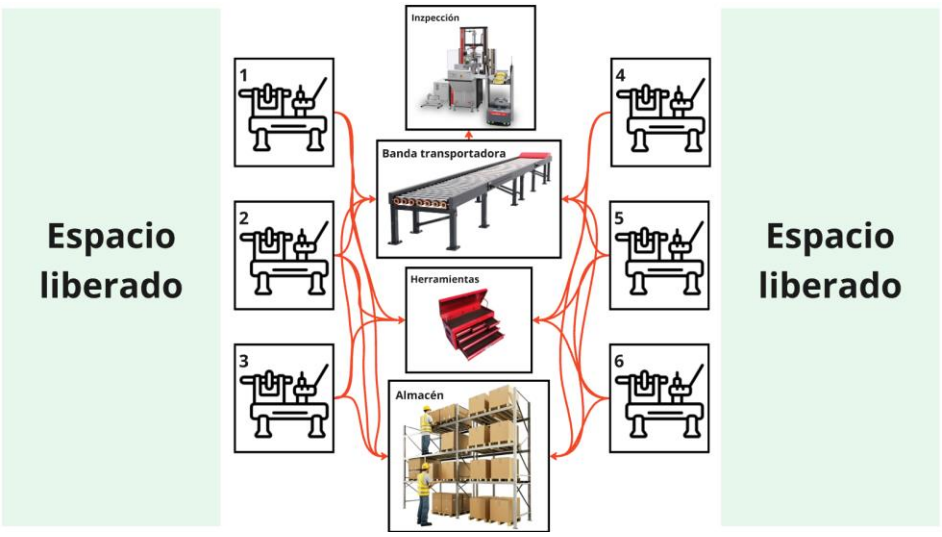


Figura 33: Diagrama de espagueti – línea de producción optimizada
Fuente: Elaboración propia

Diagrama de espagueti mejorado							
Inicio	**Fin**	**F**	**D [m]**	**T [min]**	**(F X D)[m]**	**(F X T)[min]**	**F X D X T[m.min]**
Banda	Inspección	50,00	0,50	0,13	25,00	6,25	3,13
CNC1	Almacén	2,00	3,00	0,75	6,00	1,50	4,50
CNC1	Herramienta	1,00	2,00	0,50	2,00	0,50	1,00
CNC1	Banda	10,00	1,00	0,25	10,00	2,50	2,50
CNC2	Almacén	2,00	2,00	0,50	4,00	1,00	2,00
CNC2	Herramienta	1,00	1,00	0,25	1,00	0,25	0,25
CNC2	Banda	10,00	2,00	0,50	20,00	5,00	10,00
CNC3	Almacén	2,00	2,00	0,50	4,00	1,00	2,00
CNC3	Herramienta	1,00	2,00	0,50	2,00	0,50	1,00
CNC3	Banda	10,00	3,00	0,75	30,00	7,50	22,50
CNC4	Almacén	2,00	1,00	0,25	2,00	0,50	0,50
CNC4	Herramienta	1,00	2,00	0,50	2,00	0,50	1,00

CNC4	Banda	10,00	3,00	0,75	30,00	7,50	22,50
CNC5	Almacén	2,00	1,00	0,25	2,00	0,50	0,50
CNC5	Herramienta	1,00	1,00	0,25	1,00	0,25	0,25
CNC5	Banda	10,00	2,00	0,50	20,00	5,00	10,00
CNC6	Almacén	2,00	3,00	0,75	6,00	1,50	4,50
CNC6	Herramienta	1,00	2,00	0,50	2,00	0,50	1,00
CNC6	Banda	10,00	1,00	0,25	10,00	2,50	2,50
TOTAL		**128,00**	**34,50**	**8,63**	**179,00**	**44,75**	**91,63**

Tabla 6: Resultado de la medición de variables del diagrama de espagueti optimizado

Fuente: Elaboración propia

6. Resultados de la mejora con respecto al Layout inicial

Esta última etapa consiste en **evaluar y cuantificar las mejoras obtenidas** con el nuevo diseño propuesto. Este análisis permite validar si los cambios implementados realmente han contribuido a mejorar el flujo de trabajo, reducir los desperdicios y, especialmente, optimizar el consumo de energía en la fábrica. Para determinar las mejoras logradas, se deben comparar los indicadores clave del layout inicial y el layout optimizado, es decir las variables de frecuencia, distancia y tiempo. Mediante la herramienta desarrollada es posible realizar este análisis para determinar la pertinencia de la aplicación del layout actualizado. A continuación, se presentan los resultados para el ejemplo propuesto:

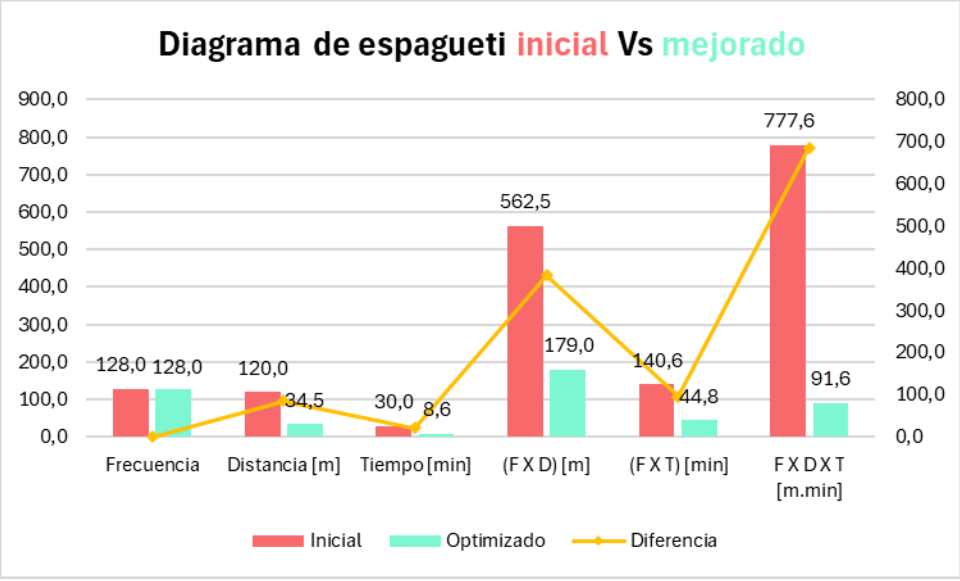


Figura 34: Diagrama de espagueti – línea de producción optimizada
Fuente: Elaboración propia

Como resultado de la optimización del layout de la línea de producción, se observa que, aunque no fue posible reducir la frecuencia de los movimientos realizados por los operadores, la reorganización estratégica de los elementos involucrados en el proceso productivo permitió disminuir significativamente las distancias recorridas. Al evitar el cruce de líneas y optimizar la disposición de los componentes, se logró una notable reducción en los tiempos de producción, lo que no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también genera un beneficio energético, al disminuir el tiempo de funcionamiento de los equipos de transporte y reducir el consumo de energía en iluminación y climatización de las áreas reorganizadas.

4.2.3.3.1.3.3. Limpiar e inspeccionar (Shine and inspect)

Un entorno de trabajo limpio y bien ordenado no solo mejora el ánimo del equipo, sino que también es fundamental para mantener la eficiencia operativa y energética en una fábrica. La implementación adecuada de los pasos S1 (Clasificar) y S2 (Ordenar) libera espacio en el piso y en las estanterías, facilitando significativamente las tareas de limpieza. Ahora, el enfoque se centra en aplicar el tercer paso del sistema 5S, Limpiar e Inspeccionar, con un propósito adicional: mejorar la gestión energética mediante el mantenimiento proactivo del entorno y de los equipos.

El equipo encargado de implementar el sistema 5S debe definir claramente los estándares de limpieza mediante la respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Qué se debe limpiar? Identificar las áreas críticas, incluyendo zonas de almacenamiento, equipos, maquinaria y espacios comunes como pasillos, ventanas, oficinas y escaleras.
- ¿Cómo se debe limpiar? Determinar los métodos adecuados de limpieza para cada área o equipo, asegurando que se utilicen los suministros y herramientas correctos.
- ¿Quién realizará la limpieza? Asignar responsabilidades claras a los miembros del equipo, asegurando que cada área de trabajo tenga un responsable específico.
- ¿Cuán limpio es “limpio”? Establecer criterios medibles que permitan evaluar el estado de limpieza de cada área.

Para facilitar las tareas de limpieza, se deben establecer estaciones de limpieza bien equipadas en ubicaciones estratégicas de la planta. Estas estaciones deben contener al menos los siguientes suministros:

- Escobas y recogedores.
- Cepillos de mano.
- Trapos y baldes.
- Mopas y cubos de agua.
- Contenedores grandes de basura.

El acceso rápido a estos suministros asegura que las tareas de limpieza se realicen de manera eficiente, minimizando el tiempo de inactividad y el consumo de energía asociado a equipos que podrían estar operando durante los procesos de limpieza.

- La limpieza debe convertirse en una parte integral de las operaciones diarias. Para ello, es importante:
- Publicar cronogramas de limpieza visibles en cada área, donde se detalle quién es responsable de cada tarea y con qué frecuencia debe realizarse.
- Incorporar sesiones de limpieza de 5 minutos al final de cada turno. Este hábito fomenta el sentido de pertenencia y el respeto mutuo entre los miembros del equipo, generando un entorno de trabajo más organizado y energéticamente eficiente.

Requerir la firma del responsable en los cronogramas al completar cada tarea, asegurando así el cumplimiento de las responsabilidades asignadas.

Además de limpiar, el paso S3 implica inspeccionar regularmente los equipos y la maquinaria para detectar posibles problemas que puedan derivar en un consumo energético excesivo. Es fundamental capacitar a los trabajadores para que puedan identificar signos tempranos de fallos, como:

- Cambios en el sonido, olor o vibración de los equipos.
- Incrementos anormales de temperatura.
- Fugas de aire o líquidos que puedan provocar pérdidas de energía.

- Se deben desarrollar listas de verificación específicas para la inspección de los equipos, de modo que los trabajadores puedan registrar cualquier anomalía y tomar medidas correctivas de manera oportuna.

Un aspecto crítico de S3 es enseñar al equipo a identificar y resolver la causa raíz de los problemas de limpieza y mantenimiento. Por ejemplo:

- ¿Por qué hay virutas acumuladas? Identificar si el problema se debe a un proceso ineficiente o a un equipo defectuoso.
- ¿Qué está causando esa fuga? Determinar si se trata de un fallo en una junta o en una tubería desgastada.
- ¿Cómo se pueden prevenir las emisiones de polvo? Evaluar si es necesario mejorar los sistemas de extracción o implementar controles adicionales.

La correcta aplicación de S3 no solo mejora el orden y la limpieza en la planta, sino que también contribuye directamente a la eficiencia energética, al garantizar que los equipos operen en condiciones óptimas y sin desperdicios. Algunos beneficios energéticos concretos incluyen:

- **Reducción del consumo de energía en equipos mal mantenidos.** La limpieza y la inspección periódica previenen fallos que pueden incrementar el consumo energético.
- **Mejor eficiencia en los sistemas de ventilación y climatización.** Un entorno limpio reduce la cantidad de polvo y residuos en el aire, mejorando el rendimiento de los sistemas de aire acondicionado.
- **Disminución de las pérdidas de energía.** Detectar y corregir fugas de aire comprimido o fluidos evita el uso innecesario de energía.

4.2.3.3.1.3.4. Estandarizar (Standardize)

Al avanzar en las tres primeras etapas del sistema (Clasificar, Ordenar y Limpiar), logramos un lugar de trabajo optimizado que favorece la eficiencia energética. Hasta este punto, se ha:

- Eliminado elementos innecesarios y organizado lo esencial en función de prioridades y necesidades energéticas.
- Asignado posiciones claras (direcciones o ubicaciones específicas) a áreas de producción y almacenamiento, máquinas, herramientas, utillaje e inventarios, mejorando los flujos y reduciendo movimientos innecesarios.
- Implementado códigos de color para facilitar la identificación rápida de áreas y equipos críticos.
- Establecido cronogramas de limpieza y estaciones 5S, promoviendo la eficiencia en la inspección y mantenimiento.
- Mejorado el desempeño de las máquinas a través de una limpieza regular y la inspección preventiva.

El resultado es un entorno limpio, bien ordenado y eficiente, que no solo reduce el consumo energético, sino que también habla por sí mismo, mostrando claramente su estado ideal.

Sin embargo, la tendencia natural al desorden (según la segunda ley de la termodinámica o la "ley de Murphy") implica que necesitamos estándares claros para mantener esta condición. Por ello, es crucial desarrollar y aplicar estándares sólidos para las etapas S1, S2 y S3, y avanzar hacia la estandarización del trabajo.

Los estándares eficaces hacen evidente cualquier desviación de la condición ideal. Ejemplos clave incluyen:

Tableros de herramientas con sombras:

- Muestran qué herramientas deben estar disponibles.
- Indican cuáles herramientas están presentes y cuáles no.
- Identifican quién tiene una herramienta y cuándo se devolverá.

Tableros de producción con kanbans:

- Informan qué producir, cuánto y para cuándo.
- Identifican si la producción está adelantada o atrasada (si los kanbans se acumulan, se detecta un problema en el proceso).

El sistema 5S debe incluir una metodología estandarizada para medir el cumplimiento. Esto puede lograrse mediante tarjetas de puntuación 5S adaptadas al entorno de trabajo y una programación regular de auditorías. Además, la implementación de un enfoque sistemático, como un chequeo rápido de 5S al final de cada turno, asegura que las áreas se entreguen en condiciones óptimas al siguiente turno.

4.2.3.3.1.3.5. Sostener (Sustain)

El quinto y último paso del sistema 5S, es crucial para garantizar que esta metodología se integre de manera permanente en la cultura organizacional y se convierta en la forma habitual de operar. Este paso es especialmente relevante cuando se busca gestionar de manera eficiente la energía en una fábrica, ya que la continuidad de las prácticas establecidas asegura el mantenimiento de los estándares operativos y energéticos alcanzados. La clave para lograrlo es el compromiso e involucramiento del equipo, lo cual se fomenta mediante la promoción, comunicación y capacitación constantes.

Para lograr que el 5S se mantenga activo y arraigado, se pueden implementar diversas estrategias de promoción:

Tableros de informes 5S: Establecer un tablero central donde se muestren los objetivos del 5S, el estado actual, las mejores prácticas del mes y fotografías comparativas del antes y después. Este tipo de visualización permite a los trabajadores ver los avances logrados y su impacto, incluido el ahorro energético derivado de la mejora continua.

Reconocimientos mensuales: Implementar el reconocimiento “Mejor práctica 5S del mes” para destacar el trabajo sobresaliente del equipo en la aplicación del 5S, especialmente en actividades que contribuyan a la eficiencia energética. El reconocimiento puede incluir un pequeño obsequio y la publicación del logro en el tablero 5S y la intranet de la empresa.

Concursos de eslóganes o logotipos: Involucrar a los trabajadores en la creación de un eslogan o logotipo que identifique el programa 5S de la empresa. Un ejemplo exitoso es el término WOW (War on Waste), que simboliza la lucha contra el desperdicio, incluido el energético, y que fue acompañado de un gráfico distintivo diseñado por los propios empleados.

Grupo central 5S: Formar un grupo central de 5S, compuesto por voluntarios de cada área operativa. Este equipo será responsable de supervisar y promover la continuidad del 5S, asegurando que se cumplan los estándares de limpieza, organización y eficiencia energética. Es importante proporcionarles el apoyo necesario, como acceso a recursos, presupuesto de promoción y herramientas informáticas.

Capacitación en 5S:

La capacitación es un elemento fundamental para sostener el 5S y asegurar su alineación con la gestión energética. Un plan de capacitación bien estructurado no solo introduce a los trabajadores al lenguaje del Lean, sino que también establece una base sólida para futuras mejoras operativas y energéticas. El siguiente es un esquema básico de capacitación en 5S:

- Miembros del equipo: Introducción al 5S (2 horas).
- Miembros del grupo central 5S: Implementación del 5S (1 día).
- Supervisores y gerentes: Implementación del 5S con enfoque estratégico (1 día).

Esta inversión en capacitación tiene un retorno rápido, ya que fomenta el sentido de pertenencia, mejora la organización del entorno de trabajo y contribuye a la reducción de desperdicios energéticos a través de un uso más eficiente de los recursos.

4.2.3.3.1.4. Total Productive Maintenance (TPM)

De acuerdo con La implementación de la metodología 5S conduce naturalmente al Mantenimiento Productivo Total (TPM), elemento clave para lograr la estabilidad y efectividad energética de los equipos (Pascal, 2015). En el contexto de la gestión energética, el TPM trasciende su rol tradicional de mantenimiento para convertirse en una herramienta estratégica que permite identificar, controlar y reducir las pérdidas energéticas asociadas a la operación de equipos industriales. Este enfoque integrado no solo busca prevenir averías y mantener la disponibilidad de los equipos, sino que además se centra en optimizar su consumo energético, reducir desperdicios y maximizar la eficiencia operacional desde una perspectiva energética.

El TPM, enfocado en la eficiencia energética, asigna tareas básicas de mantenimiento al personal de producción, incluyendo inspecciones de consumo energético, limpieza, lubricación y ajustes que impactan directamente en el rendimiento energético de los

equipos. Esta redistribución de responsabilidades permite que el equipo especializado de mantenimiento se enfoque en actividades de mayor valor agregado como:

- Mantenimiento predictivo basado en patrones de consumo energético
- Mejoras en la eficiencia energética de los equipos
- Revisiones mayores orientadas a la optimización energética
- Capacitación en gestión energética eficiente
- Implementación de tecnologías de ahorro energético

Este enfoque representa un cambio fundamental en la mentalidad organizacional, transitando desde "Yo opero, tú reparas" hacia "Todos somos responsables de nuestros equipos, nuestra planta y nuestro futuro energético". Al igual que en seguridad se busca cero accidentes, el TPM orientado a la eficiencia energética establece como meta cero paradas no programadas y cero desperdicios energéticos (Pascal, 2015).

4.2.3.3.1.4.1. Indicadores Clave:

Los indicadores fundamentales para medir la efectividad de las máquinas desde una perspectiva energética son:

- $Disponibilidad = \frac{Tiempo\ de\ carga * - Tiempo\ de\ inactividad}{Tiempo\ de\ carga}$

  *El loading time (tiempo de carga) se refiere al tiempo total planificado durante el cual una máquina o equipo debe estar disponible para operar
- $Desempeño = \frac{Tiempo\ operativo\ neto - Tiempo\ perdido}{Tiempo\ operativo\ neto}$ *

  *El desempeño también puede darse en función de la cantidad de piezas netas producidas con respecto a la cantidad de piezas planeadas
- $Índice\ de\ calidad = \frac{Cantidad\ de\ productos\ fabricados - Cantidad\ de\ productos\ defectuosos}{Cantidad\ de\ productos\ fabricados}$
- $OEE * = Disponibilidad\ X\ Desempeño\ X\ Índice\ de\ calidad$

  *OEE: Efectividad general del equipo (OEE, Overall Equipment Effectiveness)

En el contexto industrial, disponer de datos precisos sobre el desempeño de los equipos es fundamental para la mejora continua y la optimización del consumo energético. Sin embargo, algunas organizaciones no valoran el tiempo que los operarios dedican a medir el rendimiento de las máquinas, considerando que es una pérdida de tiempo. De hecho,

en ciertos casos, solo se registran los tiempos de inactividad cuando superan los 30 minutos, y pocas empresas realizan un seguimiento detallado de las pérdidas de velocidad en sus equipos. Para realizar el cálculo de estos indicadores clave para la implementación del TPM se ha desarrollado la hoja de cálculo correspondiente al anexo 2 “Cálculo del OEE”.

4.2.3.3.1.4.2. Las Seis Grandes Pérdidas en la Gestión Energética:

El Mantenimiento Productivo Total (TPM), desde una perspectiva de eficiencia energética, requiere la participación de todo el personal para eliminar las seis pérdidas principales que degradan la efectividad energética de los equipos:

Desperdicios de energía por Tiempo Inactivo:

1. Averías de equipos que resultan en consumo energético improductivo
2. Demoras en configuración y ajustes (por ejemplo, cambios de matrices en prensas o máquinas de moldeo por inyección) que generan consumo energético durante períodos no productivos

Pérdidas por Velocidad o Pérdidas Ocultas de Energía

3. Paradas menores e inactividad (el equipo consume energía, pero no procesa producto)
4. Velocidad reducida (la velocidad real es menor a la de diseño, resultando en ineficiencia energética por unidad producida)

Pérdidas por Defectos que Impactan el Consumo Energético

5. Defectos de proceso (productos perdidos y defectos que requieren reprocesos, duplicando el consumo energético)
6. Rendimiento reducido (pérdidas energéticas desde el arranque hasta alcanzar producción estable)

Es importante destacar que muchas empresas no monitorean su OEE desde una perspectiva energética. Los resultados serían alarmantes si lo hicieran, ya que la empresa promedio tiene un **OEE inferior al 50%,** lo que significa que los equipos operan a menos de la mitad de su efectividad, resultando en un consumo energético significativamente mayor al necesario para su nivel de producción.

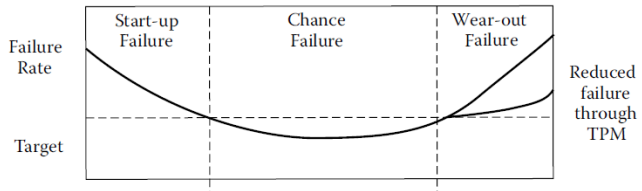
Ahora bien, las **Pérdidas por Velocidad o Pérdidas Ocultas de Energía** son las más desafiantes de rastrear en términos de consumo energético. Estas pérdidas ocurren cuando un equipo parece estar funcionando correctamente (por ejemplo, el motor de una máquina sigue en operación), pero no se está procesando producto alguno debido a diversas causas:

- **Atascos** que impiden la entrada de material al equipo.
- **Bloqueos** por la parada de una máquina en la línea de producción.
- **Falta de piezas** o componentes necesarios para continuar el proceso.
- **Desajustes** en la máquina que requieren reajuste manual.
- **Sensores desalineados** que deben ser corregidos.

Otro escenario común de ineficiencia energética ocurre cuando una máquina opera a velocidad reducida debido a:

- **Equipos desgastados o sucios**, lo que incrementa la resistencia y reduce la eficiencia operativa.
- **Insuficiente depuración durante el inicio de operación**, lo que genera problemas recurrentes en el desempeño del equipo.

Para abordar estas pérdidas de manera sistemática, es fundamental comprender la curva de vida útil del equipo, comúnmente conocida como "curva de la bañera" como se muestra en la Figura 35. Esta curva identifica tres fases críticas tal como se muestra en la figura en la vida de un equipo, cada una con sus características específicas de consumo energético:



Category	Start-up Failures	Chance Failure	Wear-out Failures
Cause	Design and manufacturing errors	Operational errors; minor and hidden failures	Wear-out
Counter-measures	Trial runs; equipment commissioning process	Check and track minor and hidden failures; make countermeasures	Prevention; improve maintainability

Figura 35: Características de vida útil y actividades de mantenimiento.
Fuente: (Pascal, 2015)

1. **Fase de Fallas de Arranque/puesta en servicio:**
    - **Descripción:** Durante esta etapa, la tasa de fallos es alta debido a errores de diseño, fabricación o instalación, así como problemas durante la puesta en marcha.
    - **Causa:** Errores de diseño y fabricación, problemas durante la puesta en marcha.
    - **Impacto energético:** Los fallos en esta fase provocan un consumo energético ineficiente debido a reinicios frecuentes y operaciones inestables.
    - **Medidas correctivas:** Realizar pruebas piloto y establecer procedimientos adecuados para la puesta en servicio de los equipos.
2. **Fase de fallas aleatorias (Chance Failure):**
    - **Descripción:** Una vez que el equipo ha pasado la fase de puesta en marcha, entra en una etapa de operación estable donde las fallas ocurren de manera aleatoria y su tasa es relativamente baja y constante.
    - **Causa:** Errores operativos y fallos menores u ocultos.
    - **Impacto energético:** Las fallas aleatorias afectan la eficiencia energética al reducir la disponibilidad del equipo y generar pérdidas energéticas en los períodos de inactividad o funcionamiento incorrecto.
    - **Medidas correctivas:** Implementar un monitoreo continuo del estado del equipo y establecer inspecciones regulares y mantenimiento predictivo para anticipar fallos menores.
3. **Fase de falla por desgaste (Wear-out Failure):**
    - **Descripción:** Al final de su vida útil, el equipo experimenta un aumento significativo en la tasa de fallos debido al desgaste natural de sus componentes.
    - **Causa:** Desgaste mecánico y fatiga de materiales y falta de un mantenimiento preventivo adecuado.
    - **Impacto energético:** El equipo desgastado suele requerir más energía para operar a la misma capacidad, lo que eleva el consumo energético y reduce la eficiencia general.

- **Medidas correctivas:** Implementar un mantenimiento preventivo eficaz y mejorar la mantenibilidad del equipo para prolongar su vida útil.

Este enfoque integral del ciclo de vida permite desarrollar estrategias de mantenimiento específicas para cada fase, optimizando el consumo energético y maximizando la eficiencia operativa del equipo a lo largo de toda su vida útil.

La Figura 36 representa la pirámide de pérdidas de máquina, una adaptación del enfoque propuesto por Herbert Heinrich en el campo de la seguridad industrial. Heinrich planteó que, por cada lesión grave, existen múltiples incidentes menores y un gran número de situaciones de riesgo que no generan consecuencias inmediatas. Este principio se puede aplicar al análisis de las pérdidas de las máquinas en el entorno industrial, incluyendo el impacto sobre la eficiencia energética.

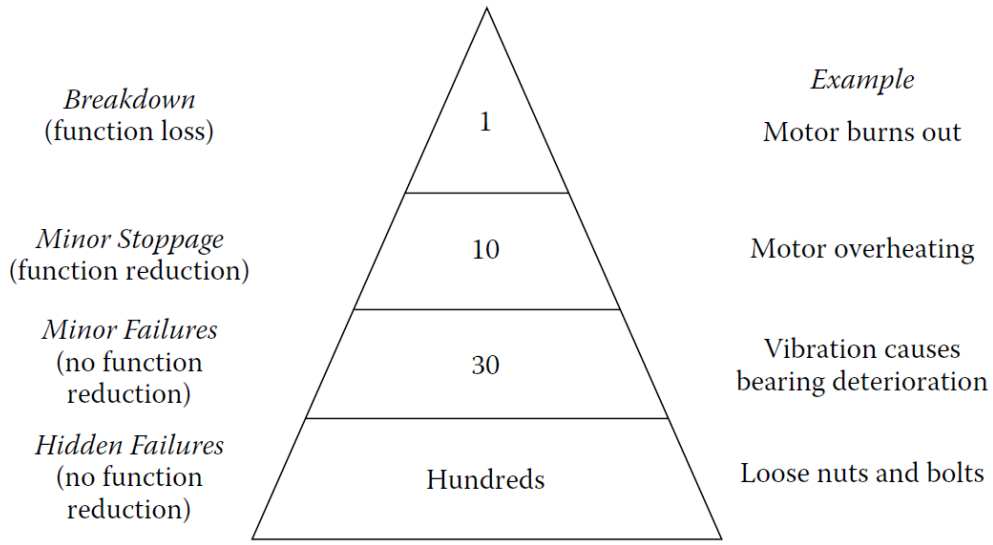


Figura 36: Pirámide de pérdidas de una máquina.
Fuente: (Pascal, 2015)

Definición de términos:

Breakdown (pérdida total de la función): Es el nivel más grave de fallo en el que una máquina pierde completamente su función, provocando una parada total del proceso. Este tipo de incidentes conlleva altos costos energéticos, no solo por el tiempo de inactividad, sino también por el esfuerzo adicional requerido para reiniciar los equipos y compensar la producción perdida. Ejemplo: Un motor quemado que deja de funcionar completamente.

Minor stoppage (reducción de la función): Se refiere a incidentes que reducen la capacidad operativa de la máquina, afectando su rendimiento, pero sin detener completamente el proceso. Este tipo de problemas puede generar ineficiencias energéticas significativas, ya que el equipo continúa operando a una capacidad subóptima. Ejemplo: Un motor que experimenta sobrecalentamiento, lo que reduce su eficiencia y obliga a realizar paradas temporales para evitar daños mayores.

Minor failure (fallo menor): Es una condición o incidente subestándar que no causa una pérdida inmediata de la función, pero que puede deteriorar progresivamente el rendimiento del equipo. Estos fallos suelen aumentar el consumo energético debido a vibraciones, emisiones de polvo o residuos, y otros factores que incrementan la fricción o resistencia interna de los componentes. Ejemplo: Elevación de la temperatura o la presión, vibraciones excesivas o emisión de partículas.

Hidden failure (fallo oculto): Son condiciones latentes que, si no se corrigen, pueden conducir a fallos menores y, eventualmente, a paradas o fallos críticos. Aunque no afectan directamente el funcionamiento del equipo, estos fallos incrementan el consumo de energía de manera inadvertida y reducen la vida útil de los componentes. Ejemplo: Pernos flojos, degradación del lubricante o deformaciones menores.

Esto nos indica que:

- Los fallos graves representan solo la punta del iceberg, son poco frecuentes, pero cuando ocurren generan grandes impactos en términos de tiempo de inactividad y costos energéticos.
- Las paradas menores pueden ser más importantes que los fallos graves
- Por cada fallo grave, hay cientos de fallos menores y ocultos
- La prevención de fallos graves requiere controlar los fallos menores y ocultos:

El Mantenimiento Productivo Total (TPM), en el contexto de la gestión energética, implica no solo realizar actividades de mantenimiento rutinario, sino también desarrollar una cultura de prevención y mejora continua en la que cada operador esté atento a las anomalías, por pequeñas que sean, y actúe antes de que se conviertan en fallos significativos. En Japón, este enfoque se conoce como la detección de “warusa-kagen” o

"cuasi-problemas", que son pequeñas anomalías que no causan pérdida de función, pero cuya identificación temprana ayuda a prevenir fallos mayores.

En un entorno industrial, la gestión eficiente de la energía no solo depende de la tecnología, sino también del compromiso y la participación activa del personal de producción. La metodología Lean y el **Mantenimiento Productivo Total (TPM)** promueven la formación de **equipos de trabajo pequeños** que se encarguen de inspeccionar, reportar y, cuando sea posible, corregir fallos ocultos y paradas menores que impactan el rendimiento de las máquinas y el consumo energético.

Herramientas para el monitoreo y corrección de fallos

Una de las estrategias clave es el desarrollo de **listas de verificación específicas para cada equipo crítico**. Estas listas deben ser diseñadas en conjunto por los equipos de producción y mantenimiento, de manera que permitan detectar condiciones anómalas que puedan conducir a fallos y aumentar el consumo de energía.

4.2.3.3.1.4.3. Herramientas para el monitoreo y corrección de fallos:

Una de las estrategias clave es el desarrollo de listas de verificación específicas para cada equipo crítico. Estas listas deben ser diseñadas en conjunto por los equipos de producción y mantenimiento, de manera que permitan detectar condiciones anómalas que puedan conducir a fallos y aumentar el consumo de energía.

La Figura 37, extraída del Anexo 2 de este documento, presenta un ejemplo genérico de un formato de aseguramiento y verificación TPM, el cual puede adaptarse a las necesidades específicas de cada área de producción. De manera complementaria, la Figura 38 ilustra un formato de lista de verificación de herramientas diseñado para su aplicación en una línea de producción. Estas herramientas deben integrarse con un sistema de monitoreo continuo y un programa estructurado de verificaciones de equipos, que permita rastrear y visualizar el estado operativo de los mismos, optimizando así la toma de decisiones rápidas y efectivas.

La detección temprana de pérdidas ocultas y menores mediante el enfoque visual y el mantenimiento básico permite prevenir fallos graves que podrían derivar en tiempos de inactividad prolongados y un uso ineficiente de la energía. Al involucrar al equipo de

producción en la supervisión y mejora del desempeño de los equipos, no solo se incrementa la eficiencia operativa, sino que también se promueve el uso racional del recurso energético. La implementación de **5S** y **TPM** no solo permite estabilizar los procesos de producción, sino que también ofrece una plataforma sólida para desarrollar una gestión energética eficiente, convirtiendo al personal operativo en un pilar fundamental para la mejora continua y el uso sostenible de la energía.

Área:	Producción	**Sección**	Corte y punzonado	
Responsable:	Operario punzonadora			
Máquina:	Punzonadora	**No. de la máquina**	Pun-01	
Puntos de control clave:	Verificación de par de apriete en tornillería, nivel de aceite, sistema eléctrico. Soldaduras,			
Estandar:	M-01-Insp_Pun			
Fecha de inspección 1:	5/01/2025			
Resultado 1:	**Conforme**			
Fecha de inspección 2:	20/01/2025			
Resultado 2:	**No conforme**			
Comentarios:	Nivel de aceite por debajo del estándar			

Figura 37: Ejemplo de hoja de aseguramiento de verificación TPM.
Fuente: Elaboración propia basado en (Pascal, 2015)

Power Tools		Check List TPM de verificación de estado de herramientas																	
		Herramienta No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
TPM Check		Descripción de la herramienta	Pulidora	Caladora	Lijadora	Pistola de aire	Remachadora	Atornillador elec.	Taladro	Prensa	Sierra de mesa	Equipo de soldadura	Torquímetro	Pistola de pintura						
No.	Detail	Tipo de herramienta -->	E	E	E	N	N	E	E	E	M	E	M	N						
1	**Limpieza**																			
1,1	La herramienta está libre de suciedad/grasas/aceite.																			
1,2	Todas las piezas móviles/rotativas se pueden																			
2	**Mecánico**																			
2,1	Señales de desgaste o fatiga.																			
2,2	Carcasas agrietadas o dañadas.																			
2,3	Todas las protecciones están en su lugar y en buenas condiciones (si corresponde).																			
2,4	Estado del mandril o del eje.																			
2,5	Tornillo "keeper" o tuerca en buen estado.																			
2,6	Lubricación de la herramienta (según especificaciones).																			
2,7	Vibración excesiva.																			
3	**Eléctrico**																			
3,1	Estado del cable eléctrico y enchufe.																			
3,2	Funcionamiento del gatillo y del bloqueo.																			
3,3	Estado del pin de tierra (si aplica).																			
3,4	Arqueo excesivo y/o funcionamiento irregular.																			
3,5	Vibración excesiva.																			
3,6	Desgaste o daño general en la carcasa.																			
4	**General**																			
4,1	¿Todos los tornillos de fijación están ajustados según las especificaciones del fabricante?																			
4,2	¿El usuario anterior dejó la herramienta en buenas																			

Legend	
Buena condición	☑
Inaceptable (remover)	☒

Tipo de herramienta	
E	Eléctrica
N	Neumática
M	Mecánica

Fecha de la verificación: _____

Responsable de la verificación: _____

lider del equipo: _____

Consejo de seguridad mensual
Asegúrese de que todos los tornillos de fijación estén al ras o por debajo de la superficie de cualquier parte rotativa. La posición de este tornillo en esta

Aclaración:
Si el resultado de la verificación es inaceptable, por favor retíre la herramienta/equipo de servicio para repararla o reemplazarla.

Figura 38: Ejemplo de lista de chequeo de verificación TPM de estado de herramientas. Fuente: : Elaboración propia basado en (Pascal, 2015)

4.2.3.3.2. Trabajo estandarizado

El contenido de este capítulo se desarrolla con base en el enfoque propuesto por (Pascal, 2015). No obstante, la filosofía Lean será adaptada específicamente para la gestión eficiente de los recursos energéticos, ya que la estandarización del trabajo se presenta como un pilar fundamental para alcanzar una administración energética óptima en el entorno industrial. En el contexto de la manufactura, el trabajo estandarizado se define como el conjunto de prácticas más seguras, simples y eficaces disponibles en el momento actual. Sin embargo, tomando como referencia la experiencia de Toyota, es importante destacar que la estandarización no implica rigidez, sino que constituye una plataforma sólida que impulsa la mejora continua. Estos son los 3 principios claves de la estandarización:

1. **No existe un único "mejor" método de trabajo**
2. **Los trabajadores deben participar en el diseño del trabajo**
3. **La estandarización es dinámica**

Desde una perspectiva sistémica (Figura 4.1), el objetivo en la gestión de una fábrica es garantizar un nivel de producción (bienes o servicios) que cumpla con las expectativas tanto de la organización como de sus clientes en relación con los parámetros **PQCDSM**:

- **Productividad**
- **Calidad**
- **Costo**
- **Tiempo de entrega**
- **Seguridad y medio ambiente**
- **Moral del equipo**

Para alcanzar este objetivo, se utilizan las 4 M como pilares fundamentales:

1. **Man/Woman (Hombre/Mujer):** Representa a los integrantes del equipo de trabajo.
2. **Machine (Máquina):** Incluye todo el equipo, herramientas, transportadores y maquinaria involucrados en el proceso.
3. **Material (Material):** Corresponde a los insumos, materias primas y piezas suministrados por los proveedores.

4. **Method (Método):** Comprende los procesos que integran de manera eficiente las personas, las máquinas y los materiales.

La cuarta M correspondiente al **método** se define como la combinación efectiva de las tres primeras M. La estandarización del trabajo se establece como una herramienta clave para desarrollar, verificar y mejorar este método, promoviendo un enfoque estructurado y eficiente.

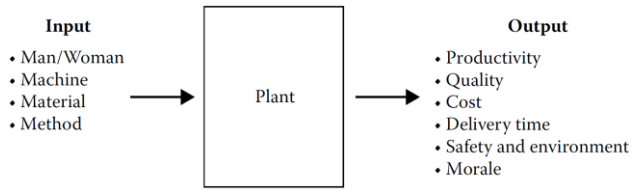


Figura 39: Elementos que intervienen en la estandarización de procesos
Fuente: (Pascal, 2015)

Tradicionalmente, se ha considerado que mejorar la eficiencia en una fábrica implica maximizar la utilización de las máquinas. Sin embargo, esta perspectiva debe ser reevaluada cuando se busca una gestión eficiente de los recursos, en especial los energéticos.

Maximizar la utilización de máquinas conlleva:

- Operar las máquinas de manera continua y a la máxima velocidad, lo que genera sobreproducción y un aumento en el desperdicio energético (muda).
- Mantener personal adicional exclusivamente para garantizar el funcionamiento constante de las máquinas.
- Incrementar el inventario en proceso para cubrir posibles problemas y mantener las máquinas en operación, lo que aumenta el consumo energético innecesario.

En otras palabras, este enfoque promueve actividades que son inherentemente ineficientes y que contradicen los principios de sostenibilidad energética.

Por el contrario, Toyota adopta un enfoque centrado en maximizar la utilización de las personas. La flexibilidad humana ofrece beneficios sustanciales que superan ampliamente los de la utilización intensiva de máquinas. Por ejemplo, un operador puede:

- Moverse entre diferentes máquinas para producir solo lo que se necesita, reduciendo el desperdicio de energía asociado con la sobreproducción.
- Cargar máquinas y transferir piezas manualmente, evitando los elevados costos energéticos de sistemas automáticos complejos.
- Ajustar los ciclos de trabajo fácilmente en función de los cambios en la demanda, adaptando el consumo energético a las necesidades reales.

En este contexto, las máquinas pequeñas y simples son preferibles a las grandes y complejas debido a las siguientes razones:

- Son más económicas
- Poseen mayor robustez al tener menos partes móviles, lo que implica menos mantenimiento y menor consumo energético en el largo plazo.
- Son fácilmente adaptables a cambios en la demanda. Por ejemplo, si la demanda se duplica, se puede añadir otra máquina pequeña. Si la demanda se reduce a la mitad, es posible detener parcialmente su operación, reduciendo en consecuencia el consumo energético.

Este enfoque de priorizar la flexibilidad humana y el uso estratégico de máquinas más pequeñas y simples permite optimizar el uso de la energía en los procesos industriales. De este modo, se fomenta una producción más sostenible, alineada con los principios Lean y los objetivos de eficiencia energética en la industria manufacturera.

4.2.3.3.2.1. Beneficios del trabajo estandarizado

1. **Estabilidad del proceso:** La estabilidad implica la repetibilidad de los procesos. Garantizar la estabilidad permite que la planta cumpla consistentemente con los objetivos de productividad, calidad, costo, tiempo de entrega, seguridad y consumo energético. Al mantener el proceso estable, se **reducen las fluctuaciones** que incrementan el uso innecesario de energía.
2. **Puntos de inicio y fin claros para cada proceso:** La claridad en los puntos de inicio y fin, junto con el conocimiento del takt time (ritmo de producción sincronizado con la demanda del cliente), permite evaluar rápidamente el estado de la producción. Si un proceso se retrasa o se adelanta, se pueden tomar decisiones inmediatas para evitar el desperdicio de recursos y energía.

3. **Aprendizaje organizacional:** El trabajo estandarizado preserva el conocimiento y la experiencia acumulada, lo que asegura que, incluso si un empleado experimentado deja la organización, el saber hacer del proceso se mantiene disponible. Esto es fundamental para conservar y mejorar las prácticas de eficiencia energética desarrolladas con el tiempo.
4. **Auditoría y resolución de problemas:** La estandarización facilita la evaluación de las condiciones actuales del proceso y la identificación de problemas. Los pasos vitales del proceso son fáciles de supervisar, lo que permite plantear preguntas críticas como:
   - ¿Están los operadores completando el proceso de manera fluida o se están quedando atrás?
   - Si se están retrasando, ¿en qué medida y en qué elementos específicos del trabajo?
   - ¿Cómo se pueden mejorar esos elementos para evitar interrupciones y reducir el consumo de energía?
5. **Participación de los empleados y poka-yoke:** En un sistema Lean, los trabajadores participan activamente en el desarrollo del trabajo estandarizado, apoyados por supervisores e ingenieros. Esta participación también fomenta la creación de dispositivos poka-yoke (a prueba de errores) simples y económicos, que minimizan el uso ineficiente de energía y previenen errores que podrían generar desperdicios.
6. **Kaizen:** Una vez que se alcanza la estabilidad del proceso, el trabajo estandarizado proporciona la base para implementar mejoras continuas o kaizen. La reducción de pérdidas de energía se convierte en un objetivo clave del kaizen, permitiendo optimizar el consumo energético a través de ajustes graduales y sostenidos.
7. **Capacitación:** El trabajo estandarizado sirve como una herramienta eficaz para la formación de los operadores. Una vez que los empleados están familiarizados con los formatos de trabajo estandarizado, realizan las tareas de manera automática conforme a los estándares establecidos. Los pasos vitales y los puntos de control funcionan como recordatorios constantes, facilitando la adopción de prácticas eficientes en el uso racional de la energía.

4.2.3.3.2.2. Elementos del trabajo estandarizado con enfoque en la gestión eficiente del recurso energético

El trabajo estandarizado consta de tres elementos fundamentales que proporcionan una línea base para evaluar y mejorar los procesos. Estos elementos no solo aseguran la estabilidad del flujo de trabajo, sino que también contribuyen significativamente a la optimización del uso de energía, ya que permiten minimizar el desperdicio energético asociado con variaciones innecesarias en la producción. Los tres elementos esenciales son:

- **Takt Time:** define la frecuencia con la que debe producirse un producto para satisfacer la demanda del cliente sin generar inventarios excesivos ni tiempos muertos innecesarios estableciendo la frecuencia óptima de producción que minimiza el consumo de energía. El tiempo takt se calcula de la siguiente manera:

$$Takt = \frac{Tiempo\ operativo\ diario}{Cantidad\ requerida\ por\ día}$$

  Por ejemplo, si la orden diaria es de 890 unidades y la fábrica opera en dos turnos de 445 minutos cada uno, el cálculo del tiempo takt sería:

$$Takt = \frac{445\ [min] + 445\ [min]}{890[Und]} = 1\ [min/und]$$

  Esto significa que la fábrica debe producir una unidad cada minuto para satisfacer la demanda diaria. En términos de eficiencia energética, ajustar el ritmo de producción al tiempo takt evita el uso excesivo de máquinas en condiciones fuera de su capacidad óptima, lo que contribuye a una **reducción del consumo energético total** y a un uso más eficiente de los recursos.

- **Secuencia de trabajo:** La secuencia de trabajo en un entorno de gestión energética eficiente define el orden preciso en el cual se ejecutan las operaciones dentro de un proceso determinado. Esta secuencia considera aspectos tanto operativos como energéticos, estableciendo una metodología que optimiza simultáneamente la productividad y el consumo de energía. La secuencia de trabajo detalla, por ejemplo, los siguientes pasos que un operador debe seguir:
  1. Recoger la pieza.
  2. Caminar hasta la máquina.
  3. Colocar la pieza en la máquina y procesarla.

4. Llevar la pieza a la siguiente máquina.

Para optimizar el consumo energético, es fundamental definir claramente la mejor manera de ejecutar cada acción y el orden adecuado en el que deben realizarse las tareas. Esto reduce movimientos innecesarios y tiempos improductivos que incrementan el uso de energía. En Toyota, se utilizaban imágenes y diagramas para mostrar visualmente:

Para optimizar el consumo energético, es fundamental definir claramente la mejor manera de ejecutar cada acción y el orden adecuado en el que deben realizarse las tareas. Esto reduce movimientos innecesarios y tiempos improductivos que incrementan el uso de energía. En Toyota, se utilizaban imágenes y diagramas para mostrar visualmente:

- La postura correcta del operador.
- La forma en que deben moverse las manos y los pies.
- Cómo sujetar correctamente las herramientas.
- El conocimiento acumulado sobre el proceso (detalles específicos y mejores prácticas).
- Los elementos críticos de calidad y seguridad que debían ser considerados.

Esta metodología visual y orientada a las personas generó confianza en el trabajo estandarizado, ya que los operadores comprendían de manera clara cómo realizar sus tareas de forma segura, eficiente y sin desperdicios. Este enfoque holístico permite mantener altos niveles de productividad y en consecuencia optimiza el consumo energético en cada etapa del proceso.

- **Inventario en proceso (in-process stock)** se refiere a la cantidad mínima de piezas sin terminar que un operador necesita tener a mano para completar un proceso sin interrupciones ni tiempos de espera frente a una máquina. Este concepto es fundamental para garantizar un flujo continuo y eficiente, lo que a su vez impacta de manera positiva en el **consumo energético** al evitar paradas innecesarias y reinicios de los equipos. En ciertas situaciones, es necesario incrementar el inventario en proceso debido a:
  - **Requisitos de inspección de calidad:** Cuando las inspecciones de calidad exigen disponer de piezas adicionales para ser revisadas, es necesario mantener un inventario mínimo que permita continuar la producción mientras se realizan los controles.

- **Procesos que requieren enfriamiento**: En algunos procesos, las piezas deben alcanzar una temperatura adecuada antes de poder pasar a la siguiente operación. Durante este tiempo, se debe mantener un inventario en proceso que asegure la continuidad del flujo productivo.
- **Ciclos automáticos de la maquinaria:** Cuando las máquinas operan de manera automática y su ciclo no depende directamente del operador, es necesario disponer de piezas suficientes para mantener la máquina en funcionamiento continuo, evitando paradas que incrementen el consumo energético por arranques y detenciones.
- **Operación de las máquinas en orden inverso a los procesos:** Si la secuencia de operación de las máquinas no coincide con el orden natural del proceso.

Definir el inventario en proceso adecuado permite establecer estándares de trabajo en proceso (WIP) para cada etapa del proceso productivo. Un flujo continuo minimiza el desperdicio de energía, al mantener los equipos operando en condiciones óptimas y constantes.

4.2.3.3.2.3. Gráficos utilizados en el trabajo estandarizado

4.2.3.3.2.3.1. Gráfica de capacidad de producción

La gráfica de capacidad de producción es una herramienta que permite determinar la capacidad de las máquinas dentro de un proceso productivo. Esta gráfica documenta los tiempos de operación tanto de las máquinas como de las actividades manuales, lo que facilita la identificación visual de cuellos de botella. Detectar estos puntos críticos es clave para optimizar el flujo de trabajo y, en consecuencia, el consumo energético, ya que los cuellos de botella provocan paradas y ralentizaciones que incrementan el uso de energía de manera ineficiente. La capacidad de producción de una máquina se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Capacidad = \frac{Tiempo\ operativo\ por\ turno}{Tieempo\ de\ proceso + \frac{Tiempo\ de\ preparación}{Intervalo}}$$

- **Tiempo operativo por turno:** Corresponde al tiempo total disponible para operar la máquina durante un turno de trabajo.
- **Tiempo de proceso:** Es el tiempo necesario para fabricar una pieza o unidad.

- **Tiempo de preparación:** Se refiere al tiempo requerido para realizar ajustes o configuraciones en la máquina (por ejemplo, cambiar el troquel o ajustar parámetros).
- **Intervalo:** Indica la frecuencia con la que se realiza la configuración, expresada en términos de número de piezas producidas entre cada ajuste.

  La Figura 40 extraída del anexo 3 muestra un gráfico correspondiente a la capacidad de producción de la máquina punzonadora de la Figura 37 utilizada en un proceso industrial que se puede calcular de la siguiente manera:

  - **Tiempo operativo por turno:** 420 minutos (equivalente a **25,200 segundos**).
  - **Tiempo de proceso por pieza:** 24 segundos por pieza.
  - **Tiempo requerido para cambiar el punzón:** 30 segundos.
  - **Intervalo de cambio:** cada 1,000 piezas.

  Aplicando la formula:

$$Capacidad = \frac{25200\ [Seg]}{24[Seg/pieza] + \frac{30\ [seg]}{1000\ piezas}} = \frac{25200}{24.03} = 1049\ piezas\ por\ turno$$

Hoja de Capacidad de Producción Estandarizada									
Nombre del Supervisor	Andrés Moncada	Parte No.	1528-235	Tipo de unidad	L2	Proceso	Nombre del operador	Julio Castro	
		Nombre de la pieza	Tapa lateral izq	No. de unidades	1	Ensamble mecánico			
Proceso No.	Nombre de proceso	Tiempo operativo por turno [horas]	Tiempo de operación básica			Cambio de herramientas		Capacidad	Comentarios
			Tiempo manual [Seg]	Tiempo automático [Seg]	Tiempo completo [Seg]	Intervalo de cambio [Piezas]	Tiempo requerido [Seg]		
1	Punzonado	7	3	21	24	1.000	30	**1.049**	
2	Corte	7	5	25	30	500	30	**838**	
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
Total			**8**	**46**	**54**		**60**		

Figura 40: Hoja de Capacidad de Producción Estandarizada
Fuente: Elaboración propia basada en (Pascal, 2015)

4.2.3.3.2.3.2. Tabla de combinación del trabajo estandarizado

La tabla de combinación del trabajo estandarizado es una herramienta que permite visualizar de manera detallada los elementos del trabajo, sus secuencias y la interacción entre el tiempo de los operadores y las máquinas. Esta herramienta es especialmente útil en la gestión eficiente de la energía, ya que facilita la identificación de ineficiencias y tiempos muertos en el uso de los recursos permitiendo así proponer mejoras que

optimicen el consumo energético. La Figura 41 extraída del anexo 3 muestra un ejemplo de su implementación.

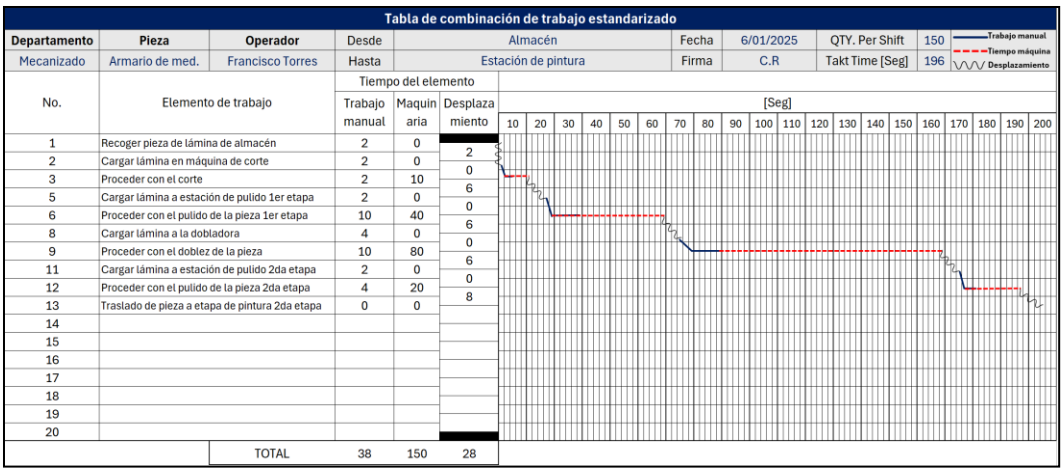


Tabla de combinación de trabajo estandarizado

Departamento	Pieza	Operador	Desde	Almacén	Fecha	6/01/2025	QTY. Per Shift	150
Mecanizado	Armario de med.	Francisco Torres	Hasta	Estación de pintura	Firma	C.R	Takt Time [Seg]	196

No.	Elemento de trabajo	Tiempo del elemento: Trabajo manual	Maquinaria	Desplazamiento
1	Recoger pieza de lámina de almacén	2	0	2
2	Cargar lámina en máquina de corte	2	0	0
3	Proceder con el corte	2	10	6
5	Cargar lámina a estación de pulido 1er etapa	2	0	0
6	Proceder con el pulido de la pieza 1er etapa	10	40	6
8	Cargar lámina a la dobladora	4	0	0
9	Proceder con el doblez de la pieza	10	80	6
11	Cargar lámina a estación de pulido 2da etapa	2	0	0
12	Proceder con el pulido de la pieza 2da etapa	4	20	6
13	Traslado de pieza a etapa de pintura 2da etapa	0	0	8
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
	TOTAL	38	150	28

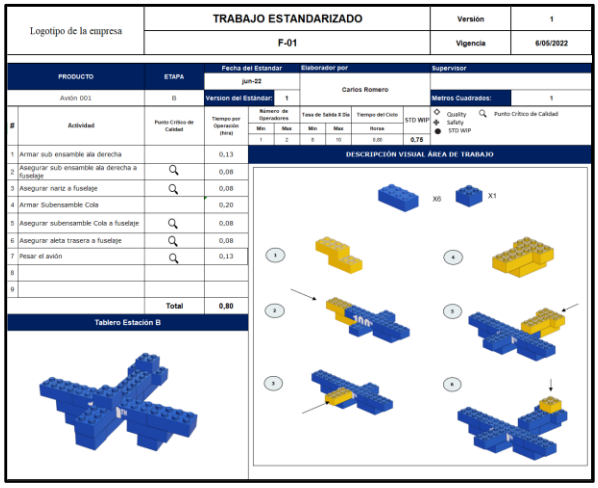
Figura 41: Tabla de combinación de trabajo estandarizado
Fuente: Elaboración propia basada en (Pascal, 2015)

4.2.3.3.2.3.3. Cuadro de análisis de trabajo estandarizado

La Este tipo de gráfico contribuye a optimizar la disposición de los elementos en la planta y facilita la formación de los trabajadores. La información presentada en el gráfico incluye:

- El diseño del trabajo,
- Los pasos del proceso y los tiempos asociados a cada uno,
- Los elementos críticos de calidad y seguridad,
- El stock de trabajo en proceso (WIP) estandarizado.

La Figura 42 extraída del anexo 3 muestra un diagrama real:



Logotipo de la empresa	TRABAJO ESTANDARIZADO	Versión	1
	F-01	Vigencia	6/05/2022

PRODUCTO	ETAPA	Fecha del Estandar	Elaborador por	Supervisor
Avión 001	B	jun-22	Carlos Romero	

Versión del Estándar: 1 — Metros Cuadrados: 1

#	Actividad	Punto Crítico de Calidad	Tiempo por Operación (Hrs)	Número de Operadores Min.	Número de Operadores Max.	Tasa de Salida X Día Min.	Tasa de Salida X Día Max.	Tiempo del Ciclo Horas	STD WIP
				1	2	8	10	0,80	0,76
1	Armar sub ensamble ala derecha		0,13						
2	Asegurar sub ensamble ala derecha a fuselaje		0,08						
3	Asegurar nariz a fuselaje		0,08						
4	Armar Subensamble Cola		0,20						
5	Asegurar subensamble Cola a fuselaje		0,08						
6	Asegurar aleta trasera a fuselaje		0,08						
7	Pesar el avión		0,13						
8									
9									
			Total						

Quality Safety STD WIP — Punto Crítico de Calidad

DESCRIPCIÓN VISUAL ÁREA DE TRABAJO

Tablero Estación B

Figura 42: Cuadro de análisis de trabajo estandarizado

Fuente: Elaboración propia

4.2.3.3.2.4. Medición del tiempo

La medición del tiempo consiste en descomponer un proceso en sus elementos y registrar el momento exacto en el que cada elemento inicia y finaliza. Este procedimiento es fundamental para evaluar el desempeño de un proceso y promover la gestión eficiente de los recursos, incluido el energético. Los pasos necesarios para realizar esta medición incluyen:

1. Familiarizarse con el área del proceso y su entorno.
2. Dibujar el diseño del área de trabajo.
3. Representar la secuencia de trabajo.
4. Describir los elementos del trabajo.
5. Medir el tiempo total del ciclo al menos 10 veces.
6. Medir el tiempo de cada elemento del trabajo al menos 10 veces.
7. Identificar y medir el trabajo irregular (por ejemplo, despeje de bloqueos).
8. Elaborar el gráfico de análisis del trabajo estandarizado y la tabla de combinación del trabajo estandarizado.

4.2.3.3.2.5. Reducción de mano de obra

La reducción de mano de obra, respaldada por herramientas de trabajo estandarizado, es un enfoque clave para mejorar la eficiencia operativa y energética en un entorno de manufactura. La eficiencia, en este contexto, se puede definir mediante la siguiente fórmula:

$$Eficiencia = \frac{Producción}{Mano\ de\ obra}$$

La optimización en un entorno Lean se centra en mantener la capacidad productiva (Determinada por el cliente) mientras se reduce el esfuerzo requerido. Los operadores liberados por estas mejoras de eficiencia son reasignados a actividades que agregan mayor valor, lo que resulta en una doble optimización: de recursos humanos y energéticos, al eliminar operaciones innecesarias y mejorar el balance del sistema productivo. Toyota identificó cuatro factores principales que afectan la estabilidad de un proceso y, por ende, influyen en el consumo energético:

1. **Fluctuaciones**: Problemas en el proceso que generan inestabilidad operativa.

2. **Cambio de Producto** (*Changeover*): Cambios relacionados con el producto, como el tiempo necesario para ajustar una máquina al fabricar diferentes piezas.
3. **Trabajo Periódico**: Actividades relacionadas con el proceso que deben realizarse de manera regular, como el cambio de herramientas o la limpieza de puntas de soldadura.
4. **Trabajo de valor (Element time):** Trabajo de valor agregado, muda, trabajo incidental (modificable y no modificable)

Un recurso útil en la reducción de mano de obra y la mejora de la eficiencia es el **diagrama de balance de operadores**, la Figura 43 permite visualizar la distribución del trabajo entre los miembros del equipo antes y después de implementar mejoras a través de la implementación de Kaizen. Para este proceso se redujo el ciclo de 134 a 82 segundos y el consumo de energía del 112% al 68%.

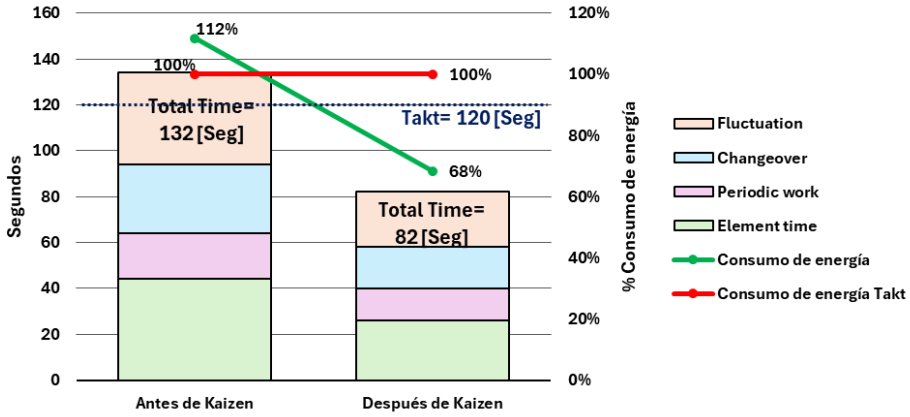


Figura 43: Diagrama de balance de operadores
Fuente: Elaboración propia basada en (Pascal, 2015)

La Figura 44 y Figura 45 presentan los diagramas de balance correspondientes al estado inicial y final de cada línea de producción de la fábrica presentada en el gráfico anterior. Se observa una clara disminución en la carga laboral, lo que a su vez implica una reducción en el consumo energético tras la implementación de mejoras en el proceso, logrando además una optimización de los valores objetivo (takt time y "consumo energético takt").

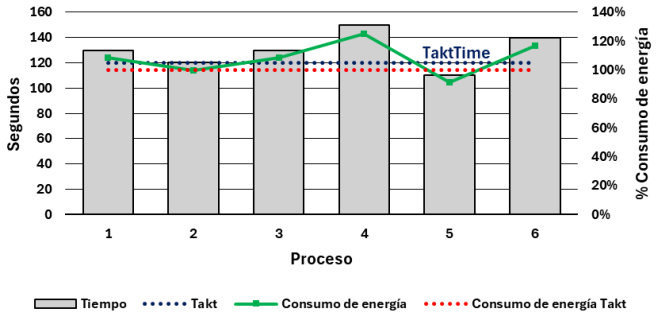


Figura 44: Diagrama de balance por cada línea de producción (actual).
Fuente: Elaboración propia basada en (Pascal, 2015)

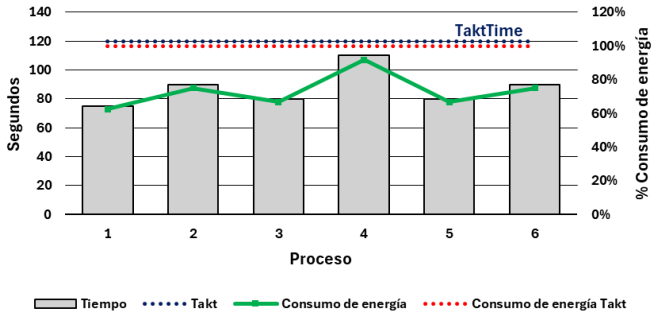


Figura 45: Diagrama de balance por cada línea de producción (mejorado).
Fuente: Elaboración propia basado en (Pascal, 2015)

La Figura 46 ilustra un ejemplo de cómo redistribuir las actividades de trabajo para reducir el número de operadores necesarios en un proceso. En este caso, se elimina el proceso 6 y en consecuencia la totalidad del consumo energético asociado a sus actividades, mientras que los procesos 2 y 4 se mantienen con tiempos de ciclo equivalentes al tiempo takt, lo que indica que están equilibrados en términos de demanda. Sin embargo, el proceso 5 representa solo aproximadamente el 60% del tiempo takt, lo que señala una oportunidad de mejora continua (kaizen) para eliminarlo completamente en el futuro.

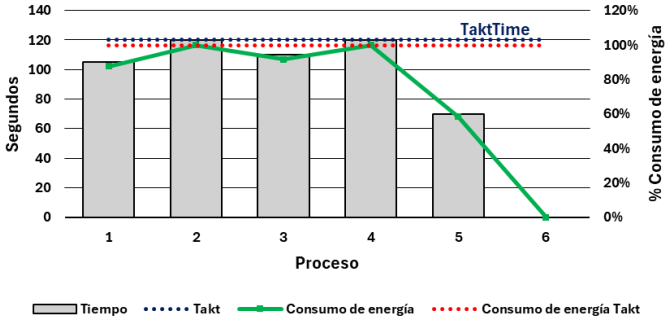


Figura 46: Diagrama de rebalanceo de producción (mejorado).
Fuente: Elaboración propia basado en (Pascal, 2015)

La estandarización del trabajo es una herramienta clave para el desarrollo de procesos eficientes. Sin embargo, el objetivo final debe ser alcanzar una eficiencia global en el sistema. Un proceso que opera más rápido que los procesos vecinos genera un desperdicio de inventario (*muda*), ya que se acumulan productos en curso (*work-in-process*, WIP) frente a los procesos más lentos.

4.2.3.3.2.6. Trabajo estandarizado y Kaizen

El trabajo estandarizado es un proceso cuyo objetivo principal es facilitar el kaizen, entendido como la mejora continua. Si el trabajo estandarizado permanece constante, se interpreta como una regresión en la eficiencia del sistema. La responsabilidad del líder es mantener las condiciones óptimas y promover mejoras constantes. Las oportunidades de kaizen suelen ser evidentes, como la presencia de *muda* (desperdicios) en forma de defectos recurrentes, fallos en máquinas o un exceso de inventario en proceso (*WIP*). Otras áreas de mejora incluyen trabajos difíciles (*muri*) o la desigualdad en la carga de trabajo (*mura*). A continuación, se presentan lineamientos específicos para el diseño que permiten identificar y aprovechar oportunidades de mejora continua.

Lineamientos para la Economía de Movimiento

- Los movimientos de las manos deben ser simétricos y simultáneos para optimizar la eficiencia.
- Los movimientos realizados con ambas manos deben ser compactos y bien coordinados.
- Las tareas ligeras deben ser ejecutadas con las manos y antebrazos, evitando el uso excesivo de los brazos superiores y los hombros, lo que reduce la fatiga y el consumo energético humano.
- Los movimientos deben fluir de manera continua y sin interrupciones.
- Las actividades deben realizarse dentro del "círculo fuerte", un área de aproximadamente un metro de diámetro directamente frente al operario, manteniendo una postura corporal adecuada y eficiente.
- Las manos deben permanecer libres siempre que sea posible para facilitar el manejo de herramientas y materiales.

Lineamientos para la Distribución y los Equipos

1. Identificar posiciones específicas para herramientas y materiales, conocidas como "posiciones base", con el objetivo de minimizar el tiempo y el esfuerzo de los empleados en su búsqueda.
2. Diseñar distribuciones flexibles que permitan adaptarse a cambios en la demanda y ajustarse a operadores de diferentes alturas.
3. Priorizar el movimiento horizontal de piezas, evitando el movimiento vertical, que requiere más esfuerzo.
4. Aprovechar la gravedad para trasladar piezas, por ejemplo, mediante el uso de estantes inclinados.
5. Colocar herramientas y materiales de manera conveniente, reduciendo la necesidad de desplazamientos innecesarios.
6. Garantizar una iluminación adecuada en las áreas de trabajo para minimizar errores y fatiga visual, asegurando que la eficiencia de las luminarias contribuya a la reducción del consumo energético.
7. Utilizar colores para organizar áreas de trabajo y facilitar la identificación de herramientas y materiales.
8. Implementar diseños en forma de “U” que coloquen los puntos de inicio y fin del proceso lado a lado, mejorando el flujo y la eficiencia.

Lineamientos para Herramientas y Plantillas

- Desarrollar plantillas (*jigs*) que eliminen la necesidad de sujetar manualmente los materiales, mejorando la precisión y reduciendo el esfuerzo físico.
- Utilizar herramientas ergonómicas que sean fáciles de sujetar, fomenten una postura adecuada de manos y muñecas, y minimicen la fuerza aplicada y las vibraciones.
- Combinar herramientas siempre que sea posible, por ejemplo, empleando una llave en T en lugar de una llave de tubo y un destornillador por separado.
- Siempre que sea posible, emplear equilibradores (Soportes flotantes, suspensores) que retiren automáticamente las herramientas del punto de uso, reduciendo el esfuerzo del operario y mejorando la eficiencia energética del sistema.

4.2.3.3.2.7. Disposición común de plantas industriales

De acuerdo con (Pascal, 2015), en los entornos de manufactura se pueden encontrar cuatro tipos principales de disposición:

1. Islas (procesos aislados): Los procesos en esta disposición están aislados entre sí, y el movimiento de inventario entre islas se realiza típicamente con montacargas. Frecuentemente, los operadores en cada isla trabajan al máximo de su capacidad sin considerar la demanda real, lo que genera sobreproducción y un uso ineficiente de energía.
2. Islas conectadas: En este modelo, las islas están unidas mediante transportadores o canales. Sin embargo, no existe un mecanismo que controle la cantidad de inventario en tránsito entre las islas. Los trabajadores suelen producir al máximo ritmo posible, lo que sigue propiciando ineficiencias energéticas debido a la acumulación de inventario y tiempos improductivos.
3. Islas conectadas con control total del trabajo: Aquí, las islas también están unidas por transportadores o canales, pero con un dispositivo visual que regula la cantidad de inventario entre procesos. Este sistema permite detener la producción en el proceso aguas arriba cuando el proceso aguas abajo está lleno, minimizando el desperdicio energético y optimizando los recursos.
4. Celdas: En este tipo de disposición, las máquinas están colocadas lado a lado, con inventario mínimo entre ellas. Idealmente, el proceso opera con un flujo de una sola pieza: tan pronto como una pieza es procesada, pasa al siguiente proceso. Este diseño minimiza el desperdicio, mejora la eficiencia energética y facilita un flujo continuo de trabajo.

En la Figura 47 se visualizan las cuatro configuraciones mencionadas, cuyos beneficios y desventajas se detallan en la Tabla 7, considerando aspectos como eficiencia, consumo energético, calidad y otros desperdicios.

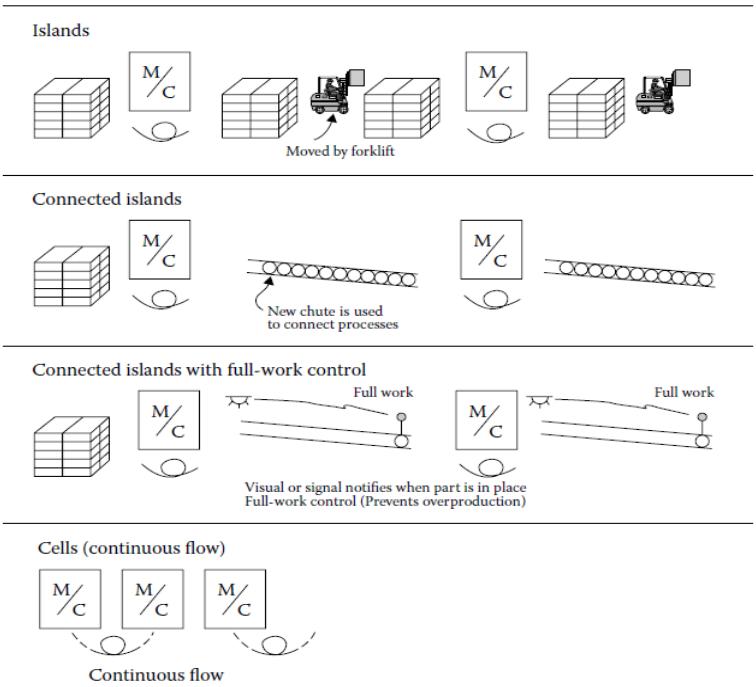


Figura 47: Disposiciones comunes de plantas industriales
Fuente: (Pascal, 2015)

Tipo	Eficiencia	Consumo de energía	Calidad	Otros desperdicios	Comentarios
Islas (Aisladas por procesos)	Baja	Baja	Baja	Baja	Exceso de desperdicios por transporte, problemas de programación, alto WIP, retroalimentación mínima de calidad.
Islas conectadas (conectadas por transportadoras, sin control total del trabajo)	Algo mejor	Algo mejor	Algo mejor	Algo mejor	Todavía es difícil ajustarse a cambios en la demanda. Algo menos de WIP Reducción de consumo energético debido a optimización en transporte
Islas conectadas con control total del trabajo	Algo mejor	Algo mejor	Bueno	Bueno	Menos WIP y desperdicio por transporte. Consumos excesivos de energía debido a ineficiencias de los procesos y sobreproducción
Celdas (flujo continuo)	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	WIP y desperdicios en transporte y movimiento mínimos, Retroalimentación continua de calidad y reducción de consumo energética significativa debido a la eficiencia de los procesos

Tabla 7: Resultado de la medición de variables del diagrama de espagueti optimizado

Fuente: Elaboración propia basada en (Pascal, 2015)

La implementación de celdas de trabajo en una planta industrial no solo mejora la productividad, sino que también optimiza significativamente el consumo energético. Esta disposición ofrece múltiples ventajas en términos de eficiencia energética:

- La proximidad física entre procesos reduce drásticamente el consumo energético asociado al transporte de materiales y productos en proceso. Al minimizar las distancias de desplazamiento, se disminuye el uso de equipos de manejo de materiales como montacargas y transportadores, que son consumidores significativos de energía.
- La retroalimentación inmediata de calidad entre procesos adyacentes previene el desperdicio energético asociado con el reprocesamiento de productos defectuosos. Cada pieza que debe ser reprocesada representa un doble consumo de energía que podría evitarse.
- La reducción del inventario en proceso, característica de las celdas compactas, también tiene un impacto energético positivo: menos iluminación y climatización requerida para áreas de almacenamiento, menor energía dedicada a la gestión y movimiento de inventario, y una utilización más eficiente del espacio disponible.
- El entrenamiento cruzado y la polivalencia del personal conducen a una operación más eficiente energéticamente, ya que los operadores comprenden mejor cómo optimizar cada proceso y pueden identificar oportunidades de ahorro energético desde múltiples perspectivas.

4.2.3.3.3. Just In time (JIT) Production - Producción justo a tiempo

El contenido de este capítulo se desarrolla con base en el enfoque propuesto por (Pascal, 2015). La producción Justo a Tiempo (JIT) consiste en fabricar el producto adecuado, en el momento oportuno y en la cantidad precisa. Cualquier desviación de este principio genera **muda** (desperdicio). Toyota implementó el sistema JIT en la década de 1950 como respuesta a diversos desafíos concretos, entre ellos:

- Mercados fragmentados que exigen múltiples productos en volúmenes reducidos.
- Alta competencia.
- Precios fijos o decrecientes.
- Tecnología en rápida evolución.
- Elevados costos de capital.

- Trabajadores altamente capacitados que demandan mayor participación.

En los sistemas de manufactura convencionales, las empresas trabajan bajo un modelo de producción **"push"** (empuje), en el cual los productos se fabrican según proyecciones de demanda y se empujan a lo largo del sistema, sin considerar la demanda real. Este método se basa en un programa maestro de producción que emite órdenes diarias a cada departamento para fabricar las piezas necesarias en el ensamblaje final. Sin embargo, es común trabajar con lotes grandes, lo que genera exceso de inventario, tiempos improductivos y un consumo energético innecesario. La gestión de inventarios y su relación con la eficiencia energética en entornos industriales ha evolucionado significativamente a lo largo de las décadas. El seguimiento de los niveles reales de inventario presenta desafíos significativos que impactan directamente en el consumo energético de las instalaciones. La acumulación de suministros "just-in-case (Por si acaso)" para protegerse contra la escasez de piezas resulta en un mayor uso de espacio, lo que requiere instalaciones más grandes y, consecuentemente, un mayor consumo energético en iluminación, climatización y operación de equipos de transporte.

4.2.3.3.3.1. Principios básicos de JIT

El sistema de producción **Justo a Tiempo (JIT)** fue introducido por Toyota en la década de 1950 y ha sido objeto de mejoras continuas desde entonces. Este enfoque, que llegó a América del Norte en los años 80 junto con otras herramientas japonesas como los círculos de calidad y el control estadístico de procesos (SPC). El JIT sigue principios básicos que pueden contribuir significativamente a una gestión eficiente de la energía en plantas industriales:

1. **Producción bajo demanda**: Solo se fabrica cuando hay una orden específica del cliente. Esto reduce el inventario innecesario, lo que disminuye el consumo energético relacionado con el almacenamiento, iluminación y climatización de áreas de inventario.
2. **Nivelación de la demanda**: Permite que el trabajo fluya de manera uniforme a lo largo de la planta, evitando picos de producción y el uso excesivo de maquinaria o recursos energéticos.
3. **Vinculación de los procesos a la demanda del cliente mediante herramientas visuales**.

4. **Maximización de la flexibilidad de personas y maquinaria**

Estos principios, junto con los conceptos de flujo continuo y sistema pull definidos por Womack y Jones(Womack & Jones, 2008), establecen las bases para un sistema de producción energéticamente eficiente y ambientalmente sostenible.

1. Flujo continuo:

El concepto de flujo continuo, fundamental en la gestión moderna de manufactura, puede ilustrarse mediante su aplicación en la optimización de procesos industriales y la eficiencia energética. En los entornos industriales tradicionales, los procesos fragmentados y las esperas innecesarias no solo afectan la productividad, sino que también generan un consumo energético ineficiente. Para implementar un sistema de flujo continuo enfocado en la eficiencia energética, se deben seguir tres principios fundamentales:

1. Definición del valor desde la perspectiva del cliente, considerando también el impacto energético
2. Reorganización de maquinaria y personal para maximizar la eficiencia del flujo de valor y minimizar el consumo energético
3. Alineación de todas las operaciones a los dos primeros objetivos

En el contexto de una planta manufacturera, esto implica realizarse preguntas clave para la optimización:

- ¿Qué genera valor real en términos de producto y eficiencia energética?
- ¿Qué actividades representan desperdicios, incluidos los energéticos?
- ¿Cómo se pueden reorganizar las operaciones para maximizar el valor y minimizar el consumo energético?

Para las cuales las respuestas fundamentales:

- La producción debe mantener un flujo constante y energéticamente eficiente
- Cualquier actividad que no contribuya directamente al valor del producto mientras consume energía es un desperdicio
- Los procesos productivos deben estar físicamente cercanos y sincronizados para minimizar el transporte y las pérdidas energéticas

Esta aproximación requiere una reestructuración que va más allá de las fronteras tradicionales de departamentos y organizaciones. Mientras que la gestión tradicional se enfoca en minimizar variaciones dentro de sistemas complejos existentes, el verdadero desafío consiste en rediseñar el sistema completo basándose en el valor y la eficiencia energética.

2. Pull (Jalar):

El sistema pull en la manufactura esbelta representa un enfoque fundamental para la optimización del consumo energético, donde ningún proceso aguas arriba debe producir hasta que el cliente aguas abajo lo solicite. Este principio tiene implicaciones directas en la eficiencia energética de toda la cadena de producción.

El funcionamiento del sistema pull puede ilustrarse mediante un proceso de manufactura y distribución energéticamente eficiente (Ver Figura 48). Cuando un cliente realiza un pedido, se activa una cadena de señales que optimiza el consumo energético en cada etapa:

1. La señal inicial del cliente crea un "vacío" en el inventario del distribuidor
2. Este vacío genera una señal al centro de distribución local, activando solo los recursos energéticos necesarios para el reabastecimiento
3. El centro de distribución local transmite la señal al centro de redistribución nacional
4. Finalmente, el fabricante recibe la señal y programa la producción específica, optimizando el uso de energía para ese lote particular

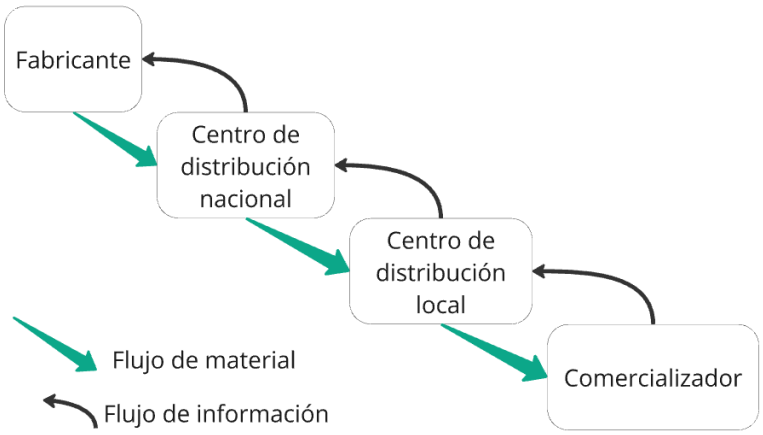


Figura 48: Principio de Pull en tres etapas
Fuente: Elaboración propia basada en (Pascal, 2015)

Este sistema permite una respuesta rápida a la demanda mientras mantiene un consumo energético óptimo, evitando el desperdicio asociado con la sobreproducción y el almacenamiento excesivo.

4.2.3.3.3.2. El sistema JIT

La esencia del sistema Just-in-Time (JIT) en el contexto de la eficiencia energética industrial se centra en hacer fluir el valor de manera que el cliente pueda ejercer la demanda mientras se optimiza el consumo de energía. Los componentes fundamentales del sistema JIT, con posibilidad de ser adaptados a la gestión energética, son:

Sistema Kanban: Un conjunto de herramientas visuales que sincronizan y proporcionan instrucciones a proveedores y clientes, tanto internos como externos, permitiendo una gestión energética optimizada en tiempo real.

Nivelación de Producción (Heijunka – Production leveling): Apoya el trabajo estandarizado y la mejora continua (kaizen), buscando mantener un ritmo de producción constante que minimice los picos y valles en el consumo energético.

Estos componentes dependen de tres elementos fundamentales:

1. Cambios Rápidos de Máquinas: Permite una respuesta ágil a los pedidos diarios, Minimiza el desperdicio energético durante las esperas y optimiza el consumo durante los cambios de producto
2. Gestión Visual mediante Sistema 5S: Transparenta las condiciones de producción y consumo energético, facilita la coordinación de acciones de ahorro energético y permite identificar desperdicios energéticos visualmente
3. Procesos Capaces, que incluyen:
    a) Métodos Capaces: El trabajo estandarizado establece una base sólida para el **kaizen** y, mediante el uso de **jidoka**, minimiza y contiene los defectos, evitando el desperdicio de energía en reprocesos.
    b) Trabajadores Capaces: La polivalencia y la capacidad de los trabajadores para resolver problemas favorecen la continuidad operativa y la mejora continua, lo que reduce las paradas innecesarias.

c) Maquinaria Capaz mediante TPM y 5S: La implementación de **TPM** y actividades 5S permite atacar las **seis grandes pérdidas** (Ver sección 4.2.3.3.1.4.2), lo que optimiza el uso energético de las máquinas.

A continuación, se profundizará en las herramientas de Kanban y Heijunka, complementando las ya analizadas 5M, TPM y trabajo estandarizado.

4.2.3.3.3.3. Kanban

El kanban es una herramienta visual clave para implementar la producción Justo a Tiempo (JIT), que permite optimizar el flujo de materiales y minimizar el desperdicio de recursos, incluido el energético. Generalmente, el kanban es una tarjeta contenida en un sobre de vinilo rectangular, que actúa como una autorización para producir o retirar productos. Además, puede contener información relevante como:

1) El proveedor de la pieza o producto.
2) El cliente que la solicita.
3) El lugar de almacenamiento.
4) El método de transporte y el tamaño del contenedor.

Existen dos tipos principales de kanban:

1. **Kanban de producción**: Especifica el tipo y la cantidad de producto que el proceso aguas arriba (proveedor) debe producir.
2. **Kanban de retiro**: Indica el tipo y la cantidad de producto que el proceso aguas abajo (cliente) puede retirar.

Estos kanban funcionan en conjunto para garantizar un flujo eficiente y continuo. Por ejemplo, en una línea de ensamblaje que fabrica productos A, B y C utilizando partes a, b y c, la línea "compra" las piezas necesarias en la tienda de partes mediante un kanban de retiro. Este retiro genera un **kanban de producción** en los procesos 1, 2 y 3, los cuales fabrican las piezas de reposición para cubrir el inventario retirado (Ver Figura 49).

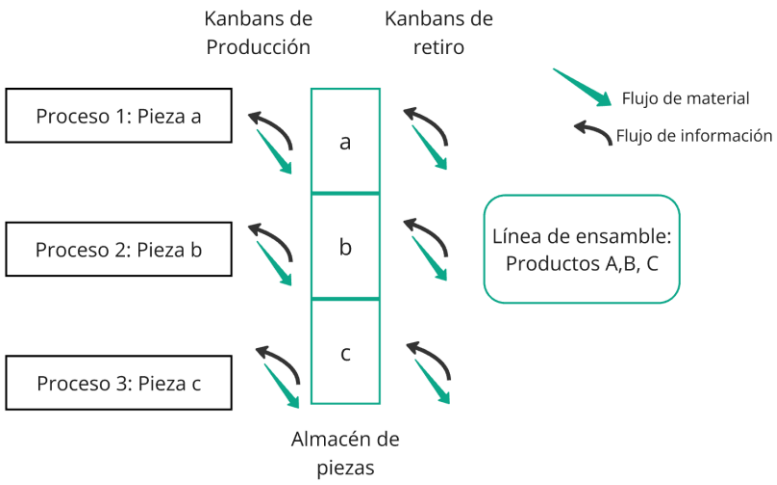


Figura 49: Diagrama de circulación Kanban
Fuente: Elaboración propia basada en (Pascal, 2015)

El principio fundamental es producir únicamente lo que ha sido retirado y en el orden exacto en que se retiró, evitando tanto la sobreproducción como el envío de productos defectuosos.

Como se muestra en la Figura 49 En un entorno de producción Justo a Tiempo (JIT), el almacén o “supermercado” es un inventario controlado de piezas donde los procesos aguas abajo "compran" las partes necesarias mediante un sistema kanban. Este almacén permite programar los procesos aguas arriba asegurando que solo se envíen piezas de calidad, siguiendo la regla de que ningún producto defectuoso debe ser entregado al cliente, ya sea interno o externo. El estado ideal sería no tener un almacén y operar con flujo de una sola pieza, pero esta condición no siempre es posible debido a:

- **Desajustes en los tiempos de ciclo:** Algunos procesos, como el estampado, operan a tiempos de ciclo muy rápidos y requieren cambios frecuentes para atender diferentes familias de productos. Otros, como el moldeo por inyección o el tratamiento térmico, tienen tiempos de ciclo muy lentos, lo que dificulta el flujo continuo de una sola pieza.
- **Distancia:** En el caso de procesos ubicados en instalaciones de proveedores externos, enviar una pieza a la vez es inviable debido a los costos de transporte y tiempos de envío.

- **Inestabilidad del proceso o largos tiempos de entrega:** Algunos procesos presentan una alta variabilidad o tiempos de entrega extensos, lo que impide acoplarlos directamente a otros procesos dentro de una celda.

Un exceso de inventario puede indicar que la capacidad de producción se ha sobredimensionado o que existen problemas de calidad o maquinaria. Por otro lado, un almacén casi vacío puede reflejar una capacidad insuficiente, lo que genera sobrecarga en los operadores y aumenta el consumo energético debido a esfuerzos adicionales.

4.2.3.3.3.3.1. Pacemaker process

El pacemaker se define como el punto de conexión entre la producción y el cliente, donde se establece la programación de la producción. Al operar aguas arriba del pacemaker, la producción es regulada por el sistema kanban, el cual actúa en función de la demanda real del cliente. Por ejemplo, si el pedido diario del cliente es de 100 unidades de los productos A, B y C, este pedido se convierte en un kanban de producción que el pacemaker utilizará para consumir piezas de los procesos previos, generando un flujo sincronizado de materiales (Ver Figura 48 y Figura 49).

El principal beneficio del sistema kanban es que solo requiere un único programa de producción, lo que permite gestionar con mayor agilidad los cambios inevitables en la demanda del cliente y las posibles fuentes de inestabilidad. La principal ventaja desde la perspectiva de la gestión energética es la necesidad de mantener un único programa de producción. Esto facilita la adaptación a las fluctuaciones en la demanda del cliente y otras variables, permitiendo ajustes rápidos en el consumo energético. En contraste, un sistema push tradicional requiere programar y reprogramar cada punto del proceso productivo, lo que puede tomar días o semanas y resultar en un uso ineficiente de la energía. Este enfoque también mejora la visibilidad del sistema. La acumulación de kanbans en el tablero de control de producción indica retrasos en la producción, mientras que una cantidad menor al nivel mínimo señala la necesidad de detener la producción. Esta visualización inmediata permite tomar decisiones rápidas sobre la utilización de recursos energéticos, evitando el desperdicio de energía en la producción innecesaria o la sobrecarga de equipos.

4.2.3.3.3.3.2. Seis Reglas del Kanban y su Relación con la Gestión Eficiente de la Energía

Para que el sistema kanban funcione correctamente y contribuya a una gestión eficiente de los recursos, incluidos los energéticos, es fundamental que los supervisores y los miembros del equipo comprendan profundamente estas reglas y desarrollen habilidades sólidas de resolución de problemas.

1) **Regla 1: Nunca enviar artículos defectuosos:**

   Los defectos implican una inversión innecesaria de mano de obra, materiales y tiempo en productos que no se pueden vender, lo que incrementa el consumo energético de manera innecesaria. Esta regla requiere:

   - **Detección rápida y contención de defectos** mediante sistemas visuales y controles de zona.
   - **(Jidoka)**, es decir, que las máquinas se detengan automáticamente al detectar un defecto.
   - **Resolución rápida de problemas** para evitar que los defectos se propaguen en el proceso.
   - Si se detectan piezas defectuosas mezcladas con buenas, deben reemplazarse inmediatamente por piezas de calidad.

2) **Regla 2: El cliente solo retira lo que necesita:**

   En el contexto del Justo a Tiempo (JIT), esta regla garantiza que solo se produzca lo que el cliente requiere en el momento adecuado y en la cantidad correcta. Esto evita la sobreproducción y el almacenamiento excesivo. Las condiciones de esta regla son:

   - No se retiran bienes sin un kanban.
   - Cada artículo debe estar acompañado de un kanban.
   - Solo se retiran las partes indicadas en la cantidad especificada.

3) Regla 3: Producir solo la cantidad requerida por el cliente

   Esta regla asegura que los procesos de producción funcionen en sincronía, evitando la producción excesiva que genera desperdicio de energía. Los procesos deben operar como si fueran una línea de ensamblaje en flujo continuo. Las condiciones de esta regla son:

   - No producir más piezas que las indicadas en los kanban disponibles.

- Producir en el orden en que se reciben los kanban.

La transparencia en el cronograma de producción, mediante tableros visuales, permite detectar rápidamente cualquier desviación y aplicar medidas correctivas oportunas.

4) **Regla 4: Nivelar la producción**

   Para garantizar que los procesos produzcan de manera estable, es necesario evitar fluctuaciones drásticas en los volúmenes de producción. Ordenar cantidades excesivas en periodos cortos obliga a los procesos a mantener capacidad excedente o a producir antes de tiempo, lo que incrementa el consumo energético innecesario. La nivelación de la producción permite mantener un ritmo constante de trabajo y reducir la necesidad de mantener capacidad adicional que consume energía de forma continua.

5) **Regla 5: Utilizar el kanban para ajustar la producción**

   El sistema kanban permite ajustar pequeñas variaciones en la producción, pero no puede responder a cambios drásticos en la demanda. Si la demanda es muy inestable, se corre el riesgo de acumular inventarios y aumentar la capacidad innecesariamente, lo que eleva el consumo energético. Por lo tanto, el kanban debe utilizarse como una herramienta de ajuste fino dentro de un plan de producción más amplio.

6) **Regla 6: Estabilizar y fortalecer el proceso**

   El cumplimiento de las reglas anteriores depende de la robustez de los procesos productivos. La aplicación del principio jidoka y la mejora continua a través del kaizen son esenciales para reducir los tres tipos de desperdicio (muda, mura y muri), optimizando así el uso de energía.

4.2.3.3.3.4. Production Leveling (*heijunka*) y su contribución en la reducción del consumo energético

En la mayoría de los departamentos de ensamblaje, se tiende a programar largas series de producción de un mismo tipo de producto para minimizar cambios entre líneas. Sin embargo, este enfoque conlleva múltiples desventajas, como tiempos de entrega prolongados, incrementos en los inventarios de productos terminados y en proceso, y una disminución en la calidad debido a la replicación de defectos dentro de los lotes. Además,

la variabilidad en las cargas de trabajo genera ineficiencias operativas, desgaste físico y emocional en los trabajadores, y un impacto negativo en la seguridad y la moral.

La nivelación de producción, conocida como heijunka, busca distribuir de manera uniforme el volumen y la mezcla de producción a lo largo del tiempo. Este método permite alternar pequeñas series de diferentes tipos de productos, en lugar de concentrarse en largas series de un solo tipo. Al implementar heijunka, se logra:

- Reducir los tiempos de entrega.
- Disminuir los inventarios de productos terminados y en proceso.
- Minimizar la variabilidad y el estrés en las operaciones, mejorando la eficiencia.

Desde una perspectiva energética, la nivelación de producción contribuye a un uso más eficiente de los recursos al evitar picos de demanda de energía y periodos de infrautilización. Si la distribución de la carga de trabajo se realiza de manera uniforme como se muestra en la Figura 50, es posible optimizar la capacidad de los equipos, reducir el consumo energético en momentos de baja utilización, y evitar el sobreesfuerzo durante los picos de producción. Este enfoque no solo reduce el costo energético, sino que también promueve la sostenibilidad al minimizar el desperdicio de recursos.

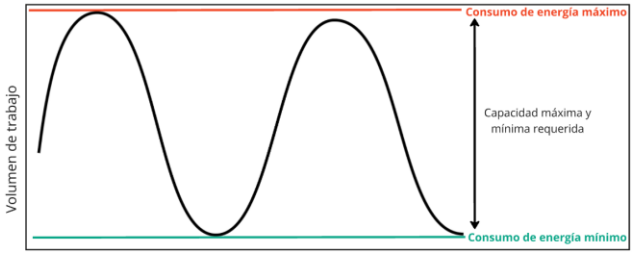


Figura 50: Rango de consumo energético en una producción nivelada
Fuente: Elaboración propia basada en (Pascal, 2015)

Para responder a las fluctuaciones en la demanda del cliente, existen tres opciones principales, organizadas según su preferencia:

- Absorber las variaciones diarias utilizando un inventario de productos terminados.
- Implementar horas extras moderadas en cada turno o trabajar ocasionalmente los fines de semana.
- Ajustar el tiempo takt según sea necesario y modificar el número de operadores.

Aunque las dos primeras opciones son prácticas y fáciles de implementar en el corto plazo, la tercera implica un nivel de complejidad mayor, ya que requiere modificar gráficos de trabajo estandarizado, capacitar al personal y redistribuir recursos. Sin embargo, en entornos Lean consolidados, este enfoque es altamente efectivo para gestionar cambios estacionales o demandas significativas.

4.2.3.3.3.5. Value Stream Mapping

El Mapeo de la Cadena de Valor (Value Stream Mapping, VSM) es una herramienta esencial para comprender el estado actual de los procesos productivos e identificar oportunidades de mejora. A través de símbolos específicos (Ver Figura 51), el VSM permite visualizar el flujo de materiales e información, lo que facilita la detección de ineficiencias y cuellos de botella.

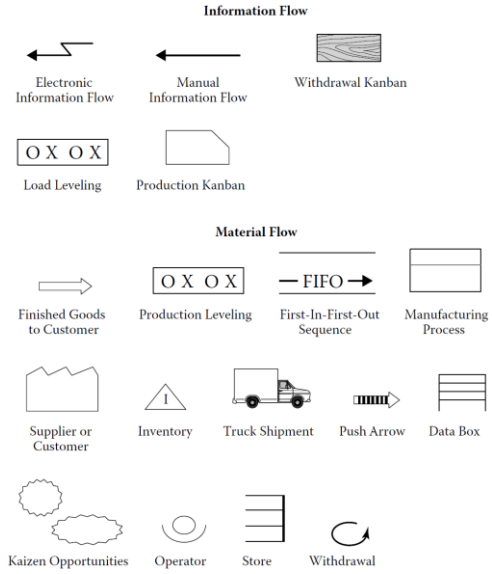


Figura 51: Símbolos de VSM
Fuente: (Pascal, 2015)

En el caso de una planta de fabricación de pallets, VSM (Ver Figura 52) permitió identificar múltiples problemas en el flujo de producción, como programación manual basada en prioridades diarias, inventarios elevados, tiempos de cambio prolongados y ciclos de producción inestables. Estas deficiencias generaban desperdicios significativos (*muda*), altos tiempos de espera, tiempos de entrega de 12 a 15 días, y un 10% de pedidos atrasados.

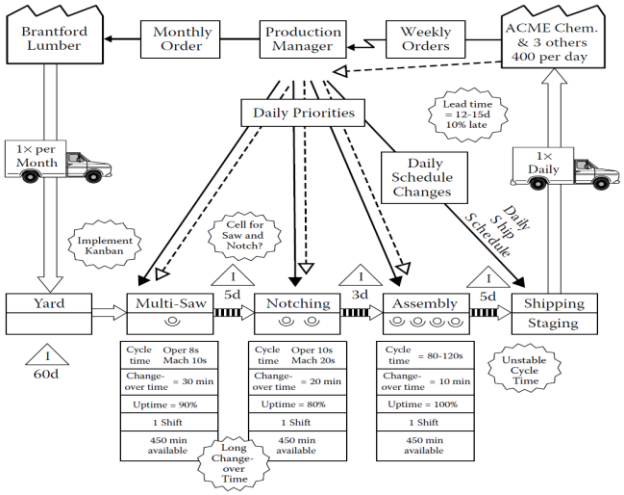


Figura 52: Mapa del estado actual
Fuente: (Pascal, 2015)

Para abordar estas problemáticas, se diseñó un mapa de estado futuro con mejoras orientadas a reducir desperdicios y optimizar el uso de recursos, incluyendo la energía. Entre las acciones planificadas destacan:

- **Estabilización del proceso de ensamblaje**: Reorganización del trabajo para reducir el número de operadores de cuatro a dos, y disminución de los tiempos de cambio a menos de cinco minutos.
- **Reequilibrio del trabajo en sierras y máquinas de ranurado**: Ajuste para que dos operadores puedan realizar ciclos de 35 segundos, reduciendo los tiempos de cambio a menos de cinco minutos.
- **Aplicación de gestión visual y metodología 5S** en los almacenes para mejorar el flujo y reducir el espacio utilizado.
- **Implementación de un sistema *pull* con kanbans**, utilizando ensamblaje como proceso principal y almacenes intermedios para minimizar interrupciones.
- **Asignación de la programación diaria al supervisor de producción**, liberando al gerente para enfocarse en actividades de mejora continua (*kaizen*).

Estas mejoras de acuerdo con el nuevo mapa posterior a la implementación de las mejoras (Ver Figura 53) generan impactos significativos en la eficiencia energética y la sostenibilidad de la planta:

- **Reducción del tiempo de entrega** de 12-15 días a 3 días.
- **Disminución de inventarios**: El inventario en el patio de madera se reduce de 60 a 10 días, el de productos en proceso de 8 a 2 días, y el de productos terminados de 5 a 1 día.
- **Incremento de la productividad**: Mejora del 43%, reduciendo el personal de 7 a 4 operadores sin pérdida de producción, permitiendo reasignación eficiente de recursos humanos.
- **Ahorro de espacio físico**: Reducción del espacio necesario en un 30% dentro de la planta y en un 50% en el patio de madera y en consecuencia del consumo energético requerido para su operación.
- **Sincronización energética**: Al establecer un tiempo *takt* de 68 segundos, se mejora el flujo continuo, reduciendo el consumo energético asociado a tiempos de inactividad y ajustes constantes en las máquinas

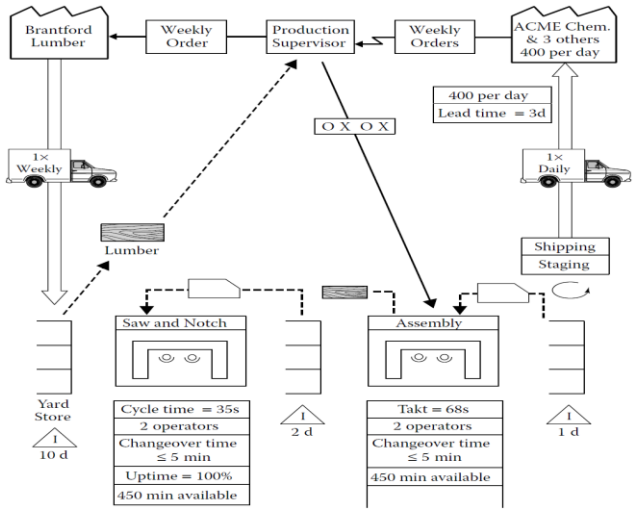


Figura 53: Mapa del estado futuro
Fuente: (Pascal, 2015)

4.2.3.3.4. Jidoka

El concepto de jidoka, introducido por Sakichi Toyoda, fundador de Toyota, revolucionó los procesos de manufactura al incorporar la capacidad de detener automáticamente la producción cuando se detectaban defectos. Jidoka significa básicamente “Construir con calidad desde la fuente” y comprende tres cosas:

- No aceptar defectos.

- No crearlos.
- No transmitirlos a otros.

Si bien se han explorado herramientas como el trabajo estandarizado, la gestión visual y los 5S para mejorar la confiabilidad humana, en esta sección se profundizará en otras técnicas complementarias: “poka Yoke” y “sistemas de inspección y zonas de control”.

4.2.3.3.4.1. Poka Yoke

El concepto de Poka-Yoke fue desarrollado como una estrategia para prevenir errores inadvertidos en los procesos de producción. "Poka" significa error involuntario y "Yoke" se refiere a la prevención. Este enfoque implica la implementación de dispositivos simples y de bajo costo que detectan situaciones anómalas antes de que ocurran o detienen la línea de producción en caso de que un defecto se presente, evitando su propagación.

Los dispositivos *Poka-Yoke* están diseñados para reducir la carga física y mental de los trabajadores al eliminar la necesidad de revisiones constantes. Entre los errores más comunes que conducen a defectos se incluyen:

- Omisión de pasos en el proceso (ej., no aplicar flujo antes de soldar).
- Errores en el proceso (ej., soldaduras fuera del estándar).
- Piezas mal posicionadas (ej., pieza colocada al revés).
- Piezas faltantes o incorrectas.
- Operaciones de maquinaria defectuosas.
- Ajustes incorrectos de equipos o herramientas.

Los métodos de detección *Poka-Yoke* utilizan tecnología de sensores para identificar y prevenir errores en los procesos de producción. Estos sensores pueden clasificarse en dos tipos: de contacto y sin contacto. En el contexto de la gestión energética en una fábrica, estos dispositivos no solo reducen defectos, sino que también optimizan el consumo de energía al evitar operaciones incorrectas y promover el uso ineficiente de recursos.

1) Sensores de contacto:

- Los sensores de contacto detectan la presencia de piezas, herramientas o matrices mediante un contacto físico. Algunos de los más comunes incluyen:

- **Interruptores de límite (Final de carrera) y microswitches**: Económicos y robustos, útiles para identificar piezas y herramientas presentes.
- **Transformador diferencial**: Detecta cambios en el campo magnético según el contacto con la pieza.
- **Interruptores de proximidad**: Activados con un toque ligero, identifican presencia, dimensiones o daños.

Estos sensores ayudan a prevenir daños en equipos y productos, así como accidentes, reduciendo el consumo energético derivado de procesos incorrectos o repetitivos. Un ejemplo es un interruptor de final de carrera instalado en la puerta de acceso a una máquina para detectar si está cerrada. Cuando la puerta permanece abierta (indicando que no hay operación activa), el sensor desactiva automáticamente el motor principal de la máquina o la coloca en modo de bajo consumo energético.

2) Métodos sin contacto:

Los sensores sin contacto utilizan tecnologías avanzadas para detectar perturbaciones o propiedades específicas de los objetos sin requerir contacto físico. Entre los más utilizados están:

- **Dispositivos fotoeléctricos:** Monitorean áreas de máquinas para garantizar su despeje antes de iniciar. También miden dimensiones y cuentan objetos o acciones.
- **Detectores de paso de metal:** Verifican tornillos instalados, piezas expulsadas de prensas, y el cierre de jaulas de seguridad.
- **Sensores de temperatura:** Detectan cambios en motores, moldes y hornos de curado para evitar sobrecalentamientos.
- **Medidores de presión:** Identifican bloqueos en tuberías o sobrepresiones en motores.
- Fluctuaciones de corriente eléctrica: Aseguran la integridad de soldaduras al verificar corrientes secundarias durante procesos de soldadura por puntos.

Un ejemplo son los Sensores fotoeléctricos instalados en áreas de trabajo para detectar la presencia de operarios o piezas. Cuando no hay movimiento en el área durante un tiempo

predefinido, los sistemas auxiliares como iluminación y climatización se apagan automáticamente. Al reanudar la actividad, el sistema vuelve a encenderse de manera instantánea.

4.2.3.3.4.2. Sistemas de inspección y control por zonas

Toyota introdujo el concepto de control por zonas, donde cada nivel de gestión, desde el líder de equipo hasta el gerente de planta, se responsabiliza de su "zona", comprendida como el equipo y el área de trabajo inmediata. Este enfoque fomenta el desarrollo de controles redundantes, esenciales para garantizar la fiabilidad de los procesos y, en el contexto de una fábrica, optimizar el uso de recursos energéticos mediante una operación más estable y predecible. A continuación, se presentan los tipos de Inspecciones:

1) **Inspecciones de juicio – Detección de defectos**

   Estas inspecciones determinan si un producto es "bueno" o "defectuoso" y buscan evitar que los defectos lleguen al cliente o a procesos posteriores. Sin embargo, suelen ser realizadas por un departamento de inspección separado, lo que limita el análisis de causa raíz y el aprendizaje del equipo. Estas inspecciones son consideradas ineficientes, ya que no fortalecen los procesos ni al personal involucrado.

2) **Inspecciones informativas – Reducción de defectos**

   Diseñadas para descubrir defectos y proporcionar retroalimentación al origen del problema, estas inspecciones suelen emplear herramientas estadísticas, como protocolos de muestreo y control estadístico de procesos (SPC). Aunque son más efectivas que las inspecciones de juicio presentan un retraso en la implementación de acciones correctivas.

   - Autoverificación: El operador verifica su propio trabajo
   - Verificación sucesiva: El proceso aguas abajo verifica el producto y da retroalimentación inmediata.

3) **Inspecciones en el origen – Prevención de defectos**

   Estas inspecciones buscan detectar errores antes de que generen defectos, proporcionando retroalimentación inmediata al origen del problema. Toyota implementó inspecciones del 100% en procesos prioritarios. Las inspecciones en el origen pueden clasificarse en:

- Inspecciones verticales: Se enfocan en buscar causas raíz en procesos aguas arriba. Por ejemplo, rebabas en piezas metálicas ensambladas pueden tener su origen en el taller de soldadura, o una fuga de agua en el ensamblaje podría deberse a una aplicación incorrecta de sellante en el taller de pintura.
- Inspecciones horizontales: Se centran en identificar causas raíz dentro del mismo departamento. Por ejemplo, los defectos por piezas faltantes en un taller de ensamblaje suelen ser resultado de la ausencia de métodos que garanticen la instalación completa de las piezas.

4.2.3.3.5. Involvement

La participación total del personal es fundamental para dar vida a un sistema de gestión energética eficiente, tal como el viento impulsa a un velero. La gestión del involucramiento debe manejarse con la misma intensidad que la producción y la calidad. En el contexto de la eficiencia energética, las organizaciones deben plantearse preguntas críticas tales como:

- ¿Cómo se involucrará a los miembros del equipo?
- ¿Qué habilidades necesitarán para participar de manera efectiva?
- ¿Cómo se mantendrá y apoyará ese involucramiento a lo largo del tiempo?
- ¿Cómo se medirá el nivel de participación?
- ¿Cuál será el papel de la gerencia en este proceso?

En el contexto de una fábrica que busca implementar un sistema de gestión energética integrado, basado en la norma ISO 50001 y la metodología Lean, fomentar la participación del personal operativo se convierte en un pilar estratégico. La participación activa del personal en la gestión energética proporciona ventajas competitivas significativas, incluyendo una mayor capacidad para identificar oportunidades de ahorro, el desarrollo de soluciones innovadoras para la eficiencia energética, y un compromiso colectivo con los objetivos de sostenibilidad. La experiencia, conocimiento y creatividad del personal representan un recurso invaluable que, cuando se aprovecha adecuadamente, puede conducir a mejoras sustanciales en el desempeño energético de la organización (Pascal, 2015).

Herramientas como 5S, TPM y trabajo estandarizado son componentes importantes en el involucramiento. Sin embargo, para este principio se realizara un enfoque en las siguientes herramientas

4.2.3.3.5.1. Círculos Kaizen (KCA)

La actividad de círculos Kaizen (KCA) es una herramienta de involucramiento ampliamente conocida, empleada para mejorar procesos y resolver problemas en el entorno industrial. La formación de un círculo Kaizen se desencadena cuando un gerente identifica un problema y actúa como patrocinador. El círculo suele estar compuesto por seis a ocho miembros del equipo, quienes se reúnen una vez a la semana durante un período de seis a ocho semanas. Al finalizar el ciclo, se presenta a la dirección un informe sobre los resultados alcanzados y las posibles actividades futuras. En el contexto de la gestión eficiente de la energía, estos círculos pueden enfocarse en la identificación de desperdicios energéticos y en la implementación de mejoras basadas en la norma ISO 50001. Por ejemplo, un círculo podría abordar la optimización del consumo energético en un proceso específico de manufactura.

La implementación exitosa de los círculos Kaizen (KCA) requiere de un departamento de control encargado de promover y gestionar estas actividades. Las principales tareas administrativas de este departamento incluyen:

1. **Elaboración de formatos estándar** que apoyen el trabajo de los círculos.
2. **Registro de nuevos círculos** que se formen para abordar problemas específicos.
3. **Documentación de los resultados** obtenidos por cada círculo.
4. **Generación de informes** sobre los resultados globales y las tendencias de las actividades Kaizen.
5. **Capacitación del personal** en los procesos y herramientas necesarios para la KCA.

Mediante el anexo 4 se ha generado un modelo de reporte kaizen (Ver Figura 54)

	Anexo 4: Formato de reporte: actividad de círculo kaizen					
1	Fecha de inicio:		Fecha de finalización:			
	Problema identificado		Tema del circulo			
2	Asesor del circulo:		Miembros del circulo	1		
	facilitador del circulo			2		
	Miembros del circulo:			3		
	Capacitador del circulo:			4		
	Gerente:			5		
	Nombre del equipo					
	Problema seleccionado				4	Análisis de causa raíz
3	Objetivo				5	Plan de acción (Desarrollo e implementación)
	Cronograma de actividades				6	Verificación del plan de acción

Figura 54: Formato de reporte – actividad de circulo kaizen
Fuente: Elaboración propia basada en (Pascal, 2015)

El **Entrenamiento Práctico Kaizen (Practical Kaizen Training - PKT)** es una actividad intensiva de una semana cuyo propósito principal es la capacitación de supervisores y operarios, así como la mejora de un proceso específico. Los factores claves del PKT son:

1. **Comunicación:** La comunicación eficaz con los operarios y supervisores de todos los turnos es esencial para garantizar el éxito del PKT. Se deben discutir los objetivos de manera anticipada y recopilar ideas de los empleados que ejecutan el trabajo. Cualquier cambio en el proceso o el equipo debe ser validado por todos los turnos para asegurar la coherencia en la producción.
2. **Entendimiento de la Situación** Los participantes del PKT deben evaluar y comprender lo que realmente está ocurriendo en el proceso. Esto incluye la medición de tiempos de ciclo reales, niveles de inventario en proceso (WIP) y el desempeño de las máquinas. Las discrepancias entre lo que se hace y lo que indican los estándares suelen ser indicios de problemas en el proceso.
3. **Resolución de Problemas:** Los miembros del PKT deben actuar como científicos, utilizando el ciclo PDCA para confirmar cada acción. Todos los cambios deben basarse en la observación y la medición. Para Lean , se considera que una de las mayores fortalezas de la empresa es **la aplicación rigurosa del método científico en todos los niveles.**
4. **El Rol del Supervisor en el Éxito del PKT:** El supervisor desempeña un papel clave en el éxito de Lean y del PKT. Además de asegurar la producción en términos de cantidad y calidad, debe liderar la mejora continua. Toyota establece cuatro niveles de liderazgo en kaizen:
    1. Nivel 1: Indicar al operario qué hacer.
    2. Nivel 2: Mostrar al operario cómo hacerlo.
    3. Nivel 3: Hacerlo junto con el operario.
    4. Nivel 4: Dejar que el operario lo haga por sí mismo, fomentando el aprendizaje mediante preguntas.

    El supervisor debe saber hacer las preguntas correctas para guiar al operario hacia el autodescubrimiento, fomentando así una cultura de aprendizaje continuo (Pascal, 2015).

4.2.3.3.5.2. Programas de reconocimiento

En el contexto de la gestión eficiente de la energía en entornos industriales, los programas de sugerencias emergen como una herramienta fundamental para optimizar el consumo energético a través del conocimiento colectivo de la organización. La experiencia de Toyota demuestra cómo la participación activa de todos los miembros del equipo multiplica las oportunidades de mejora en la eficiencia energética, aprovechando la perspectiva única de cada colaborador en el proceso productivo.

Un programa de sugerencias efectivo para la optimización energética debe caracterizarse por un proceso simple y accesible, que facilite la rápida implementación de ideas orientadas a la reducción del consumo energético. La toma de decisiones ágil y la retroalimentación inmediata son cruciales para mantener el compromiso del personal con las iniciativas de ahorro energético. Además, el sistema debe garantizar equidad en el acceso a reconocimientos y promover activamente la participación, combinando incentivos tanto extrínsecos como intrínsecos que motiven la generación continua de propuestas para mejorar la eficiencia energética.

Este enfoque participativo en la gestión energética no solo optimiza el consumo de recursos, sino que también fortalece el compromiso del personal con los objetivos de sostenibilidad de la organización, creando una cultura de mejora continua enfocada en la eficiencia energética.

4.2.3.3.6. Hoshing Planning

De acuerdo con (Pascal, 2015) y adaptando el enfoque del principio a la gestión eficiente de la energía Hoshing Planning actúa como el sistema nervioso en la gestión eficiente de la energía en entornos industriales. Este sistema de planificación abarca tanto el corto plazo (un año) como el largo plazo (tres a cinco años), y se utiliza para identificar y abordar necesidades críticas en la gestión energética, desarrollando simultáneamente las capacidades del personal mediante la alineación de recursos empresariales en todos los niveles y la aplicación del ciclo PDCA para lograr resultados críticos en eficiencia energética. La planificación Hoshin es la mejora lógica de la gestión por objetivos (MBO) introducida por Peter Drucker en su clásico de 1954, La práctica de la gestión. La planificación Hoshin se basa en las fortalezas de MBO y evita sus debilidades. Drucker influyó profundamente en el pensamiento empresarial japonés. Empresas como Toyota

desarrollaron la planificación hoshin refinando las ideas de Drucker. Estas mejoras importantes incluyen

1. Enfoque Dual en Objetivos y Procesos:
2. Implementación de PDCA y Métricas:
3. Nemawashi en Contexto Energético:
4. Catchball para Optimización Energética:
5. Enfoque en las Personas:

El sistema de planificación hoshin comprende lo siguiente:

1. Planificar-hacer-verificar-actuar (Ver 4.2.3.2.1)
2. Nemawashi
3. Catchball
4. Concepto de departamento de control
5. Pensamiento A3

4.2.3.3.6.1. Nemawashi

El Nemawashi, término que significa literalmente "**preparar un árbol para su trasplante**", representa en el contexto de la gestión energética industrial el proceso fundamental de construcción de consenso que crea alineamiento en las iniciativas de eficiencia energética. Este proceso implica la revisión exhaustiva de proyectos energéticos con todas las partes interesadas antes de su implementación. Aunque esta fase de planificación puede extenderse, resulta en una implementación más rápida y efectiva de las mejoras energéticas.

El proceso de Nemawashi en gestión energética implica múltiples revisiones basadas en retroalimentación de los grupos de interés, eliminando sorpresas desagradables durante la presentación final a la alta dirección. Es importante notar que la construcción de consenso no implica el abandono de ideas o creencias individuales, ni requiere unanimidad absoluta antes de la implementación. En ocasiones, puede existir un acuerdo para discrepar, pero el consenso significa que todos los participantes apoyarán la decisión grupal en beneficio de los objetivos de eficiencia energética organizacional.

4.2.3.3.6.2. Catchball

El proceso de Catchball, esencial en la gestión energética industrial, representa el intercambio bidireccional de ideas y estrategias entre los diferentes niveles de gestión

durante el proceso de planificación energética. Este mecanismo busca conectar la visión de la alta dirección con las actividades diarias del personal operativo.

El proceso se desarrolla en las siguientes etapas:

1. **Iniciación desde la Alta Dirección:** Los directivos desarrollan una visión sobre las necesidades de optimización energética y comunica esta visión a los gerentes superiores
2. **Interpretación por la gerencia:** Los gerentes interpretan la visión de los directivos y la transforman en objetivos estratégicos. Estos objetivos son devueltos a la alta dirección para recibir retroalimentación y validar su alineación con la visión general
3. **Ajustes y consenso:** La alta dirección y los gerentes superiores intercambian ideas hasta alcanzar un consenso sobre los hoshins que guiarán a la organización hacia el logro de su visión estratégica.
4. **Comunicación a los gerentes intermedios:** Los gerentes superiores comunican los hoshins a los gerentes intermedios, quienes los desglosan en actividades específicas relacionadas con la operación diaria y el consumo energético. Estas actividades son nuevamente revisadas hasta lograr consenso.
5. **Desglose en actividades operativas:** Los gerentes intermedios trasladan los objetivos y actividades a sus equipos operativos, asegurando que cada miembro del equipo comprenda su rol en el cumplimiento de los objetivos energéticos.

Este proceso asegura que las estrategias de eficiencia energética se comuniquen efectivamente a través de toda la organización, garantizando el entendimiento y compromiso en todos los niveles jerárquicos.

4.2.3.3.6.3. Departamento de control

El concepto del departamento de control en Toyota se presenta como una estrategia clave para superar los vacíos funcionales que obstaculizan el desempeño organizacional. Dado que los objetivos esenciales de una empresa, como la productividad, calidad, costos y seguridad, requieren una colaboración interdepartamental, este enfoque fomenta la coordinación entre diferentes áreas. En el contexto de la gestión eficiente de la energía en una fábrica, el departamento de control energético asumiría el rol de coordinar las actividades necesarias para lograr los objetivos energéticos de la organización, promoviendo la planificación estratégica, el monitoreo continuo y la resolución de problemas. El departamento de control debe liderar y coordinar los esfuerzos entre los

distintos departamentos involucrados en el consumo de energía, como: **Producción, Mantenimiento, Compras, Ingeniería, Control de producción, Calidad.**

La función principal del departamento de control es asegurar que cada área contribuya al cumplimiento de los objetivos incluidos los energéticos de la empresa mediante las siguientes acciones:

1. **Liderar el proceso de planificación estratégica energética** (*hoshin kanri*).
2. **Establecer objetivos y medios para alcanzarlos**, utilizando herramientas como **nemawashi** (consenso previo) y **catchball** (retroalimentación continua).
3. **Aplicar el ciclo PDCA** a nivel micro y anual para verificar el éxito de las estrategias implementadas.
4. **Hacer visibles los problemas relacionados con el consumo energético** y apoyar la implementación de medidas correctivas.

4.2.3.3.6.4. Pensamiento A3

El informe A3 es una herramienta de comunicación visual que resume, en una página de tamaño 11" × 17", la información clave sobre actividades y problemas específicos. Este formato se originó en Toyota durante la década de 1960 para documentar las actividades de los círculos Kaizen y, con el tiempo, se convirtió en uno de los instrumentos más eficaces de comunicación de la empresa. Existen cuatro tipos de A3:

1. **Informe A3 de planificación estratégica (Hoshin Planning A3):** Resume los objetivos estratégicos incluidos los energéticos de la empresa y de cada departamento, alineados con la visión global de la organización.

2. **Informe A3 de resolución de problemas (Problem Solving A3):** Documenta los problemas incluidos los energéticos identificados, sus causas raíz y las contramedidas implementadas.
3. **Informe A3 de propuestas (Proposal A3):** Se utiliza para presentar nuevas ideas o proyectos relacionados con la mejora del desempeño energético, como la incorporación de tecnologías más eficientes.
4. **Informe A3 de estado actual (Current Status A3):** Resume el estado actual de los indicadores energéticos o de un proyecto de mejora, facilitando el seguimiento continuo.

l valor del informe A3 no radica únicamente en el documento final, sino en el proceso que conlleva su elaboración, el cual está profundamente arraigado en los principios de PDCA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar), Nemawashi (consenso previo) y catchball (intercambio de ideas). Un buen informe A3 refleja un sólido entendimiento de la situación y la aplicación adecuada de herramientas Lean. En el ámbito energético, este enfoque permite:

- Identificar oportunidades de ahorro energético de manera visual y comprensible.
- Facilitar la colaboración interdepartamental en proyectos de eficiencia energética.
- Asegurar un monitoreo constante de las mejoras implementadas y sus resultados.

Un problema recurrente en la elaboración de informes dentro de las organizaciones es la **falta de estandarización**. Los formatos de los reportes varían entre departamentos e incluso dentro de diferentes secciones de un mismo departamento. Otro problema es el **exceso de información**, también conocido como el síndrome de "mejor por volumen". Los planes estratégicos, a menudo, contienen tantas páginas que resultan abrumadores, lo que desmotiva su lectura y análisis. Para superar estos problemas, se recomienda emplear el **formato A3**, que presenta la información de manera concisa y estandarizada. Este formato actúa como un **storyboard** (Ver Figura 55) que sigue una secuencia lógica, facilitando la comprensión y el seguimiento de los objetivos.

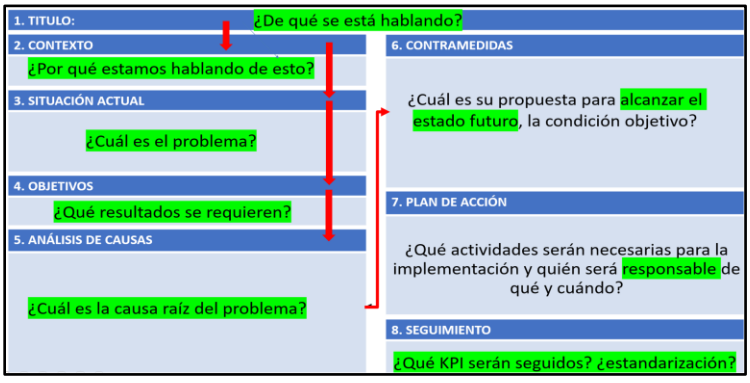


Figura 55: Flujo lógico de A3
Fuente: Elaboración propia

El Anexo 5 detalla el formato A3, diseñado para facilitar la resolución de problemas (Ver Figura 56). Estos documento siguen una estructura lógica y estandarizada, comparable a

un guion gráfico, que permite visualizar de manera clara el problema, las acciones a tomar y los resultados esperados.

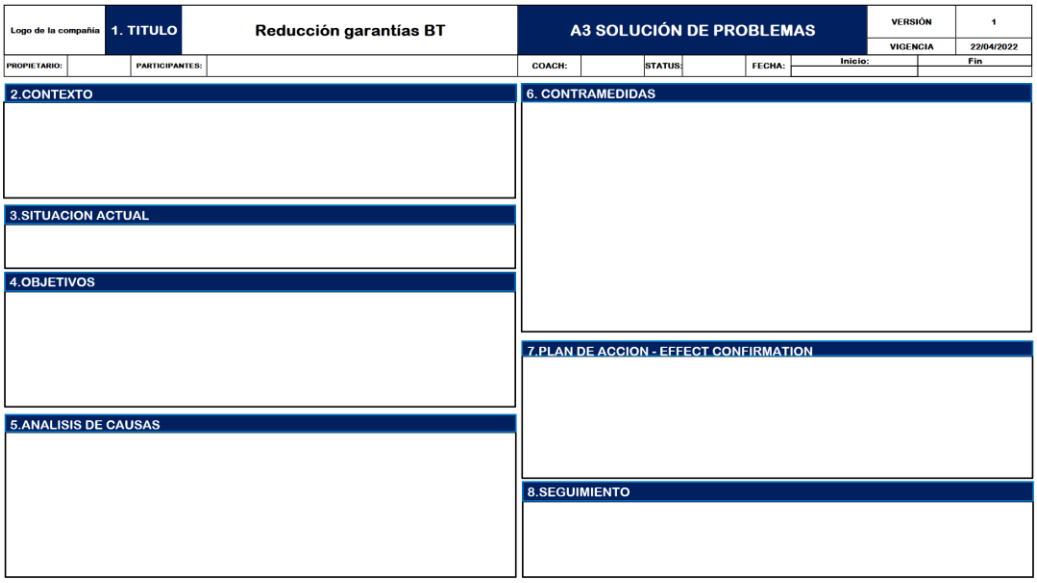


Figura 56: A3 de resolución de problema
Fuente: Elaboración propia

5. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA INTEGRACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN BASADO EN LA NORMA ISO 50001 Y LEAN MANUFACTURING.

La relación que existe entre los sistemas de gestión de energía convencional (SGEn) y Lean manufacturing, puede identificarse con facilidad partiendo del principio de que el enfoque de ambos es reducir los desperdicios, en el caso de los SGEn, específicamente de tipo energético. Este vínculo se fundamenta en la complementariedad de sus principios, como lo confirman los resultados obtenidos en la revisión de los artículos analizados a partir del estudio bibliométrico (Ver sección 4.2). Una de las principales consecuencias de la implementación de Lean es la mejora del desempeño energético de las organizaciones (Sciortino & Watson, 2009). En este contexto, la creación de una sinergia entre ambas metodologías contribuye significativamente a alcanzar la eficiencia energética (Ver Figura 57).

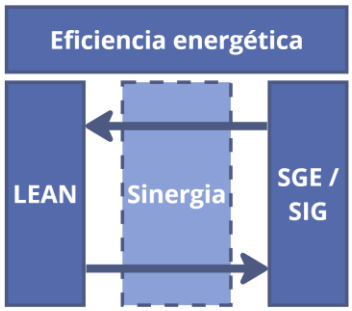


Figura 57: Eficiencia energética respaldada por Lean y los SGE y sus sinergias
Fuente: Elaboración propia

Una vez identificados y enmarcados en el ámbito de la gestión eficiente de los recursos energéticos, y comprendiendo el propósito de los principios y elementos de Lean Manufacturing que pueden contribuir significativamente a mejorar los resultados de la implementación de un sistema de gestión de energía convencional, basado en los parámetros de la norma internacional ISO 50001:2018, se procede a realizar una categorización coherente de estos. Dicha categorización se organiza en función de las etapas del ciclo de Deming, que conforman la estructura de alto nivel para las normas de gestión ISO (ver sección 4.2.3.1.1) y que se fueron presentadas previamente en la Figura 20.

Además de comprender los principios y herramientas de Lean Manufacturing a través del estudio presentado en las secciones 4.2.3.3 y 4.2.3.4, la categorización propuesta en la Figura 58 se fundamenta en estudios previos y trabajos de investigación realizados por dos autores, quienes desarrollaron integraciones similares en otros contextos industriales, según lo expuesto en los artículos referenciados a continuación:

1) Lean-integrated management system: A model for sustainability improvement (Souza & Alves, 2018)
2) Integrating lean thinking into ISO 9001: a first guideline (Chiarini, 2011)

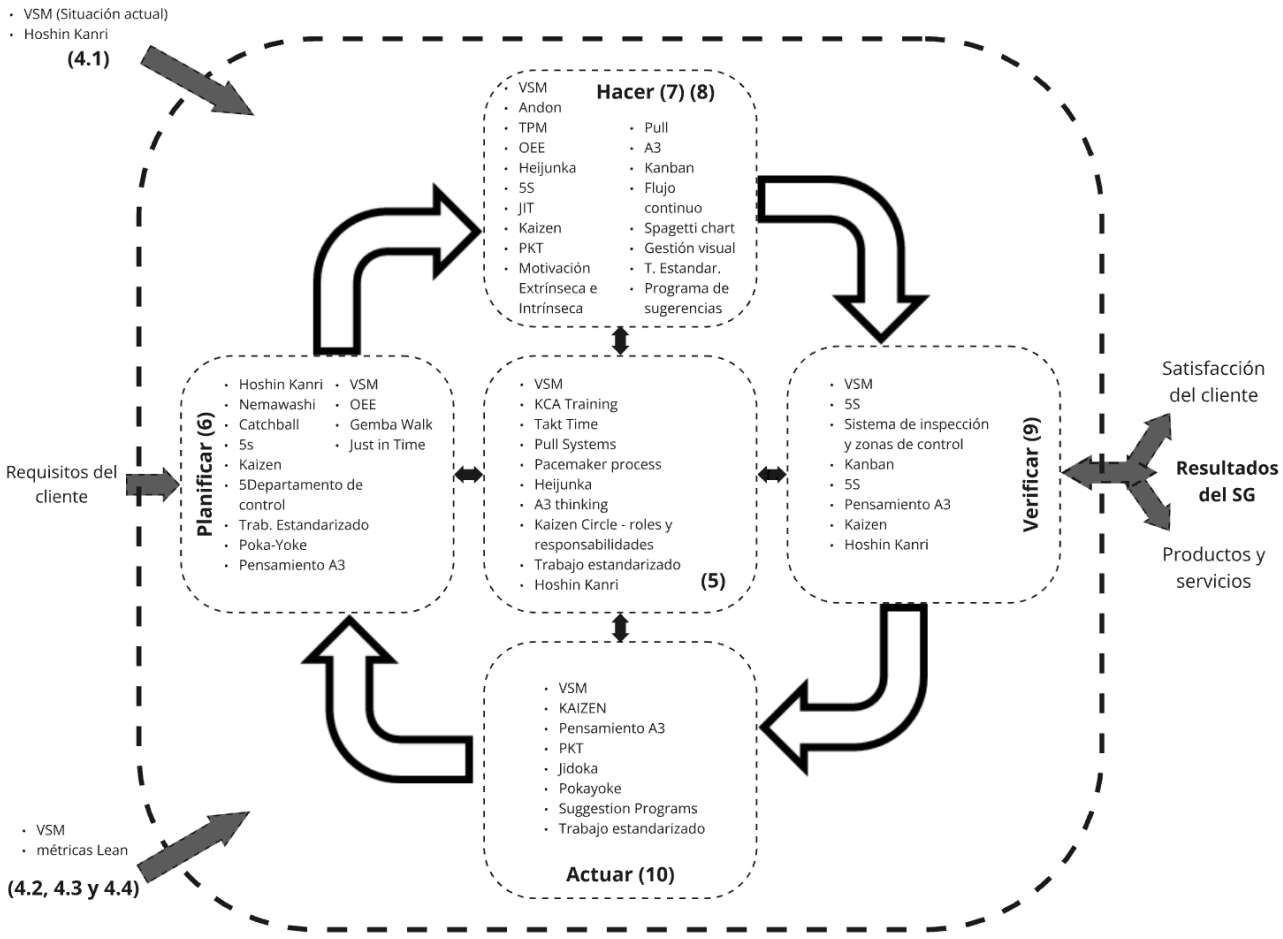


Figura 58: Clasificación de herramientas Lean en relación con el ciclo de mejora continua de los SGEn
Fuente: Elaboración propia

A partir del modelo presentado en la Figura 58 y considerando la estructura de alto nivel sobre la cual se desarrolla la **norma ISO 50001** (ver sección 4.2.3.1.1) se llevó a cabo un análisis exhaustivo del **Sistema de Gestión de Energía (SGEn)** (UNE, 2018). Este análisis tuvo como objetivo identificar los numerales específicos de la norma susceptibles de integración sinérgica con los principios y herramientas de **Lean Manufacturing**.

El resultado de dicho análisis se presenta en la Tabla 8, donde se ofrece una descripción innovadora de las correlaciones existentes entre los requisitos del SGEn y los principios y herramientas Lean. Asimismo, se explica cómo estas integraciones pueden contribuir a la **creación de sinergias** enfocadas en la **optimización del consumo energético**, fomentando la **eficiencia operativa** y promoviendo un entorno de **mejora continua** en el contexto industrial.

Tabla 8: Integración sinérgica entre SGEn y Lean Manufacturing
Fuente: Elaboración propia

ISO 50001:2018		Principio / herramienta Lean Manufacturing	Contribución de la Integración de SGEn con Lean Manufacturing
Numeral	**Requisito**		
4.1	Comprender la organización y su contexto	VSM (Estado actual), Hoshin Kanri	***La organización debe identificar los temas externos e internos que afectan su propósito y capacidad para alcanzar los resultados esperados de su Sistema de Gestión de Energía (SGEn) y mejorar su desempeño energético.*** • **Hoshin Kanri** alinea los objetivos estratégicos de la organización con las iniciativas energéticas clave, asegurando que los temas externos (como regulaciones gubernamentales o tendencias del mercado) e internos (como recursos disponibles y cultura organizacional) sean considerados en la planificación. • **VSM** identifica los flujos de energía actuales en los procesos de la organización, ayudando a detectar ineficiencias y cuellos de botella que pueden ser influenciados por factores externos (como el suministro energético) e internos (como la maquinaria o el personal).
4.2	Comprender las necesidades y expectativas de las partes interesadas	VSM (Estado actual)	***La organización debe identificar las partes interesadas pertinentes, sus requisitos, y cómo se tratan estas necesidades a través del SGEn, además de gestionar los requisitos legales y otros aplicables relacionados con el uso y consumo de energía***. • **VSM permite** **a) Identificación de las partes interesadas pertinentes para el desempeño energético y el SGEn:** • **Mapeo de la cadena de valor**: El VSM identifica los flujos de energía desde las entradas (proveedores) hasta las salidas (clientes), revelando las partes interesadas clave, como proveedores de energía, equipos internos, y usuarios finales de los productos o servicios. • **Visualización de relaciones:** Permite mapear cómo interactúan las partes interesadas con los procesos energéticos, facilitando la identificación de aquellas que impactan directa o indirectamente en el desempeño energético. **b) Identificación de los requisitos pertinentes de las partes interesadas:** • **Identificación de expectativas**: Al analizar la situación actual, el VSM destaca los puntos de interacción con las partes interesadas, ayudando a identificar requisitos específicos, como la calidad de suministro energético, tiempos de respuesta, y cumplimiento normativo. • **Captura de necesidades**: Durante el análisis de flujos, se documentan las necesidades y expectativas energéticas de los procesos, lo que ayuda a vincularlas con las demandas de las partes interesadas **c) Determinación de cuáles de estas necesidades y expectativas se tratan a través del SGEn:** • **Identificación de oportunidades:** El VSM destaca áreas donde el SGEn puede abordar necesidades específicas, como la eficiencia energética en procesos clave o la optimización del consumo en puntos críticos. • **Priorización de acciones:** Permite decidir cuáles expectativas tienen mayor impacto y deben ser gestionadas a través del SGEn, alineando estas decisiones con la estrategia organizacional. **d) Requisitos legales, normativos y otros aplicables:** • **Acceso y gestión de requisitos legales:** El VSM identifica puntos en los procesos que están sujetos a regulaciones, como emisiones, eficiencia energética mínima o estándares de operación. Esto ayuda a garantizar que se cumplan los requisitos aplicables. • **Seguimiento y revisión periódica:** Al vincular requisitos legales con los flujos energéticos, el

			VSM facilita su monitoreo continuo y revisión periódica, integrando esta gestión en las operaciones diarias.
4.3	Determinación del alcance del EnMS	VSM	***La organización debe determinar los límites y la aplicabilidad del SGEn para establecer su campo de aplicación.*** El **Value Stream Mapping (VSM)** ayuda a determinar el campo de aplicación del Sistema de Gestión de la Energía (SGEn) al proporcionar una representación visual de los procesos y flujos energéticos. Facilita la identificación de los límites del sistema, destacando los puntos de control donde la organización tiene autoridad sobre el uso, consumo y eficiencia energética. Además, integra temas internos y externos (4.1), así como los requisitos de las partes interesadas (4.2), asegurando que todas las fuentes de energía relevantes estén incluidas. Esto permite un enfoque completo y alineado con los objetivos del SGEn, garantizando su efectividad y aplicabilidad.
4.4	Sistema de gestión de la energía	VSM (Estado actual), Métricas Lean	***La organización debe establecer, implementar, mantener y mejorar continuamente un SGEn, incluyendo los procesos necesarios y sus interacciones, y mejorar continuamente el desempeño energético, de acuerdo con los requisitos de este documento.*** **a) Contribución del VSM** • **Visualización de procesos energéticos**: El VSM identifica los procesos clave y sus respectivos flujos de energía, mostrando sus interacciones y puntos de ineficiencia. Esto facilita la comprensión integral del SGEn y sus áreas de mejora. • **Detección de desperdicios energéticos**: Ayuda a identificar actividades que consumen energía innecesariamente, como tiempos muertos, excesos de inventario o uso ineficiente de equipos. **b) Contribución de las métricas Lean** • **Seguimiento del desempeño energético**: Métricas como tiempo de ciclo, tasa de utilización y consumo por unidad permiten monitorear el desempeño energético en tiempo real. • **Establecimiento de objetivos claros**: Las métricas Lean ayudan a fijar metas cuantitativas para mejorar el desempeño energético de manera continua, alineadas con los requisitos del SGEn. • **Monitoreo de mejoras**: Al evaluar los resultados de las acciones implementadas, las métricas permiten ajustar y optimizar procesos energéticos continuamente.
5.1	Liderazgo y compromiso	VSM (Estado actual y futuro), Takt Time, Pull System, Peacemaker, Heijunka, Lean Thinking, Nemawashi, KCA training, trabajo estandarizado, Pensamiento A3	***La alta dirección debe demostrar liderazgo y compromiso con respecto a la mejora continua de su desempeño energético y de la eficacia de su SGEn*** El cumplimiento del numeral 5.1 Liderazgo y compromiso puede fortalecerse mediante herramientas qur permiten a la alta dirección demostrar liderazgo al integrar los principios Lean en la gestión energética, abordando cada requisito de la siguiente manera: **a) Establecer el campo de aplicación y los límites del SGEn:** VSM (Estado actual y futuro): Proporciona una representación visual de los procesos energéticos actuales y deseados, facilitando la definición de límites claros y precisos para el SGEn. **b) Política energética, objetivos y metas alineadas con la estrategia:** Lean Thinking y Takt Time: Ayudan a alinear los objetivos energéticos con la estrategia organizacional mediante la planificación de recursos y procesos basados en demandas reales y tiempos de ciclo optimizados. **c) Integración de los requisitos del SGEn en los procesos de negocio:** Pull System y Peacemaker: Aseguran que los procesos en términos energéticos estén integrados eficientemente en el flujo general de la organización, eliminando desperdicios y mejorando la sincronización entre operaciones.

			d) Aprobación e implementación de planes de acción: Heijunka y VSM (Estado futuro): Facilitan la nivelación de carga y la planificación de acciones energéticas, asegurando que los recursos se asignen eficientemente para cumplir con los planes aprobados. **e) Recursos necesarios:** Métricas Lean: Identifican las necesidades de recursos en términos de energía, tiempo y costos, optimizando su asignación para lograr los objetivos del SGEn. **f) Alcanzar resultados previstos del SGEn:** Peacemaker y métricas Lean Garantizan el monitoreo continuo del desempeño energético en puntos clave del proceso, asegurando que el SGEn logre sus metas previstas. **g) Fomentar la mejora continua:** Lean Thinking y KAIZEN: Promueven una cultura de mejora continua en la gestión energética, involucrando a todos los niveles de la organización en la identificación y resolución de problemas. **h) Formación de un equipo de gestión de la energía** KCA training ayuda a estructurar equipos eficientes y sincronizados y capacitados. **i) Dirigir y apoyar a las personas:** Heijunka y Lean Thinking: Aseguran un entorno de trabajo equilibrado, reduciendo tensiones y fomentando la participación activa del personal en la mejora del desempeño energético. **j) Respaldo de funciones pertinentes de la dirección:** VSM y métricas Lean: Proveen datos claros y relevantes que permiten a los líderes en cada área tomar decisiones informadas y objetivas **k) Representación adecuada de los IDEn:** Métricas Lean: Facilitan la creación de indicadores clave de desempeño energético (IDEn), asegurando que sean precisos, útiles y reflejen el verdadero estado de los procesos energéticos. **l) Identificación y tratamiento de cambios que afectan al SGEn:** VSM (Estado actual y futuro) y pensamiento A3 y trabajo estandarizado permiten detectar cambios en los flujos energéticos, evaluando su impacto y ajustando el SGEn para mantener su efectividad y alineación con los objetivos organizacionales.
5.2	Política energética	Hoshing Planning (Strategic policy deployment), Nemawashi, Catchball	***La alta dirección debe establecer una política energética*** Las herramientas Lean, como **Hoshin Planning**, **Nemawashi**, **Catchball** y **Current Status A3**, contribuyen al desarrollo de una política energética sólida al alinear los objetivos estratégicos de la organización con sus metas energéticas. **Hoshin Planning** garantiza que la política sea relevante para el propósito organizacional y fomenta la mejora continua, mientras que **Current Status A3** analiza la situación energética actual para identificar necesidades y oportunidades. **Nemawashi** y **Catchball** facilitan la participación colaborativa y el consenso entre las partes interesadas, asegurando la asignación adecuada de recursos, el cumplimiento normativo y la integración de criterios de eficiencia energética en la adquisición y el diseño. Estas herramientas permiten documentar, comunicar y revisar la política periódicamente, asegurando su efectividad y pertinencia.
5.3	Funciones, responsabilidades y autoridades de la organización	Kaizen Circle - Roles y responsabilidades	***La alta dirección debe asegurarse de que se asignan las responsabilidades y las autoridades de las funciones pertinentes, y de que se comunican dentro de la organización.*** ***a) Asegurarse de que el SGEn se establece, se implementa, se mantiene y se mejora continuamente*** • Los círculos Kaizen permiten a los equipos de trabajo multifuncionales identificar oportunidades de mejora, implementar acciones correctivas y evaluar continuamente el desempeño del SGEn. • A3 Thinking: A través de reportes estructurados, esta herramienta facilita el seguimiento de la implementación del SGEn y la documentación de mejoras realizadas, asegurando que el sistema sea robusto y evolucione de manera continua. ***b) Asegurarse de que el SGEn es conforme con los requisitos de la norma*** • La matriz RACI ayuda a definir claramente quién es responsable, quién aprueba, a quién se consulta y quién debe ser informado en cada actividad relacionada con el SGEn. Esto asegura el

			cumplimiento de los requisitos de la norma y una gestión eficiente del sistema. • Trabajo estandarizado: Establece procedimientos claros para las actividades críticas, garantizando que las operaciones se realicen de manera uniforme y conforme a los requisitos de la norma ISO 50001. ***c) Implementar planes de acción para mejorar continuamente el desempeño energético*** • Kaizen Circle: Facilita la implementación de planes de acción mediante la participación activa de los empleados en la identificación de áreas de oportunidad y la ejecución de mejoras. • A3 Thinking: Proporciona un enfoque estructurado para el desarrollo y ejecución de planes de acción, documentando las causas raíz de los problemas y las medidas correctivas necesarias para mejorar el desempeño energético. • KAICEN: Este principio fomenta una cultura de mejora continua en el desempeño energético, alineando los esfuerzos de todo el personal con los objetivos del SGEn. ***d) Presentar informes sobre el desempeño del SGEn y sobre la mejora del desempeño energético a la alta dirección a intervalos determinados*** • A3 Thinking: Genera reportes visuales y estandarizados que facilitan la presentación periódica de resultados a la alta dirección, asegurando una comprensión clara del estado del SGEn y de los avances en el desempeño energético. • Kaizen Circle: Permite documentar y reportar los logros obtenidos a partir de las mejoras implementadas, mostrando de manera tangible el impacto de las acciones realizadas. ***e) Establecer los criterios y métodos necesarios para asegurarse de que la operación y el control del SGEn son eficaces*** • Trabajo estandarizado: Define los criterios operativos y establece métodos específicos para el control del SGEn, asegurando que las actividades relacionadas con la energía se realicen de manera eficiente y conforme a los estándares establecidos. • Matriz RACI: Clarifica las responsabilidades de los distintos miembros del equipo en la definición y seguimiento de los criterios y métodos de control. • Kaizen Circle: Permite revisar y ajustar continuamente los métodos y criterios operativos en función de los resultados obtenidos y las necesidades cambiantes de la organización.
6.1	Acciones para tratar los riesgos y las oportunidades	KAIZEN, A3 Thinking, Poka-Yoke, Hoshin Kanri	***Además de cumplir con los requisitos 4.1 y 4.2, la planificación debe ser coherente con la política energética y debe conducir a acciones que resulten en la mejora continua del desempeño energético. La organización debe determinar los riesgos y las oportunidades que tiene que considerar*** La correcta identificación y tratamiento de los riesgos y oportunidades en el Sistema de Gestión de Energía (SGEn) pueden beneficiarse significativamente de la aplicación de herramientas Lean como KAIZEN, A3 Thinking, Poka-Yoke y Hoshin Kanri. La metodología KAIZEN fomenta la mejora continua mediante pequeños cambios incrementales que minimizan riesgos y optimizan procesos energéticos. A3 Thinking facilita el análisis estructurado y la resolución de problemas al permitir una evaluación clara de riesgos y oportunidades, alineando las acciones con la política energética de la organización. Poka-Yoke, al prevenir errores y fallos en los procesos, reduce los efectos indeseados y asegura la eficacia de las operaciones, contribuyendo al logro de los resultados previstos del SGEn. Por último, Hoshin Kanri refuerza la coherencia estratégica al desplegar objetivos a todos los niveles de la organización, asegurando que las acciones planificadas conduzcan a la mejora continua tanto del SGEn como del desempeño energético. Con esta integración metodológica, se fortalece la capacidad de la organización para gestionar eficazmente sus riesgos y oportunidades, garantizando un SGEn robusto y alineado con los principios de eficiencia energética.

6.2	Objetivos, metas energéticas, y la planificación para alcanzarlos	Hoshin Kanri (Basada en la gestión por objetivos), PDCA, Nemawashi, Catchball	***La organización debe establecer objetivos en las funciones y niveles pertinentes. La organización debe establecer metas energéticas. Los objetivos y las metas energéticas deben: a) ser coherentes con la política energética; b) ser medibles (cuando sea posible); c) tener en cuenta los requisitos aplicables; d) considerar los UlEn (véase 6.3); e) considerar las oportunidades (véase 6.3) para mejorar el desempeño energético; f) ser objeto de seguimiento; g) comunicarse; h) actualizarse según sea apropiado.*** ***Al planificar la manera de alcanzar sus objetivos y sus metas energéticas, la organización debe establecer y mantener planes de acción*** Hoshin Kanri, al basarse en la gestión por objetivos, permite desplegar estratégicamente los objetivos energéticos a todos los niveles y funciones de la organización, asegurando su coherencia con la política energética (literal a) y facilitando su monitoreo y actualización continua (literales f y h). Nemawashi, a través del consenso previo, fomenta la participación de las partes involucradas en la planificación de las metas y la asignación de recursos, lo que asegura que los planes de acción sean realistas y estén alineados con los requisitos aplicables (literal c) y las oportunidades de mejora del desempeño energético (literal e). Catchball, mediante el intercambio iterativo de ideas y retroalimentación, ayuda a definir claramente qué se hará, quiénes serán responsables y cómo se evaluarán los resultados, fortaleciendo la comunicación (literal g) y asegurando que los planes de acción se integren de manera eficaz en los procesos de negocio de la organización. Con estas metodologías, se garantiza un enfoque estructurado y participativo que impulsa el logro de los objetivos energéticos y el compromiso con la mejora continua del desempeño energético.
6.3	Revisión energética	VSM, Pensamiento A3, OEE, Gemba Walk	***La organización debe desarrollar y llevar a cabo una revisión energética. Para llevar a cabo la revisión energética, la organización debe:*** ***a) Analizar el uso de la energía y el consumo de energía basados en mediciones y otros datos*** (VSM) Energético se destaca como la herramienta principal. Este permite crear un mapa detallado del flujo de energía a través de todos los procesos, identificando tipos y patrones de consumo. Se complementa con herramientas de gestión visual que facilitan el monitoreo continuo mediante tableros de control e indicadores visuales, y A3 de estado actual que permite una representación clara de las mediciones y resultados ***b) Identificar los UlEn*** El Gemba Walk Energético constituye una herramienta fundamental. Estos recorridos específicamente diseñados para la gestión energética permiten la observación directa y documentación de patrones de consumo. La implementación de una matriz de priorización complementa estos recorridos, facilitando la clasificación sistemática de equipos y sistemas según su impacto energético, lo que permite una identificación precisa de los Usos Significativos de Energía. ***c) Para cada UlEn: Determinar las variables pertinentes; determinar el desempeño energético actual; identificar a las personas trabajando bajo su control que influyen o afectan a los UlEn.*** El OEE permite evaluar el desempeño actual, mientras que la Matriz RACI Energética facilita la identificación y asignación de responsabilidades del personal que influye en los UIEn. Este enfoque integrado asegura una comprensión completa de cada uso significativo de energía. ***d) Determinar y priorizar las oportunidades para la mejora del desempeño energético*** La metodología Kaizen y Trabajo estandarizado adaptadas al contexto energético son esenciales. El Kaizen Energético proporciona un marco para la identificación sistemática y priorización de oportunidades de mejora, mientras que el trabajo estandarizado Energético se enfoca en identificar las falencias que pueden generar cambios de estado que impactan el consumo energético ***e) Estimar el uso de la energía y el consumo de energía futuros*** EL VSM(Estado futuro) permite representar gráficamente las proyecciones de consumo de energía de las cuales se fundamentan los objetivos de consumo energético eficiente

6.4	Indicadores de desempeño energético	OEE. A3, Thinking, VSM, Hoshin Kanri	***La organización debe determinar IDEn que:*** ***a) sean apropiados para medir y hacer el seguimiento de su desempeño energético;*** OEE Energético (Overall Energy Effectiveness) se presenta como una herramienta fundamental. Esta adaptación del OEE tradicional incorpora métricas específicas de energía, midiendo la disponibilidad energética, el rendimiento energético y la calidad de la energía ***b) permitan a la organización demostrar la mejora del desempeño energético.*** El Método A3 permite el monitoreo sistemático a través de gráficos de control y análisis de capacidad de procesos energéticos, facilitando la documentación estructurada de mejoras y el seguimiento detallado de resultados, proporcionando evidencia clara de la mejora continua en el desempeño energético. ***El método para determinar y mejorar los IDEn debe mantenerse actualizado como información documentada*** La Estandarización de Trabajo y las 5S para Gestión Documental son fundamentales. La estandarización establece procedimientos claros para el cálculo y actualización de IDEn, mientras que las 5S aseguran una gestión documental ordenada y sistemática ***Los valores de los IDEn deben revisarse y compararse con sus respectivas LBEn*** el Hoshin Kanri Energético y el VSM Energético son herramientas esenciales. Hoshin Kanri facilita la alineación de indicadores con objetivos estratégicos y el seguimiento de desviaciones, mientras que el VSM Energético permite mapear los flujos de energía y visualizar las mejoras en comparación con las líneas base establecidas.
6.5	Línea de base energética	JIT (Just in Time), Trabajo Estandarizado, A3 thinking	***La organización debe establecer una(s) LBEn usando la información de las revisiones energéticas (véase 6.3), teniendo en cuenta un periodo de tiempo adecuado.*** La Estandarización de Trabajo y JIT en conjunto con el monitoreo de variables a través del VSM en conjunto con TPM, permiten generar líneas base energéticas solidas y confiables con respecto a las cuales se realizarán verificaciones periódicas que permitirán determinar su grado de cumplimiento ***Cuando la organización tiene datos que indican que las variables pertinentes afectan significativamente al desempeño energético, la organización debe llevar a cabo una normalización de los valores de los IDEn y de las LBEn correspondientes.*** Cuando se detectan variables que impactan significativamente el desempeño energético con respecto a los parámetros estandarizados, la metodología A3 y Kaizen proporcionan un marco estructurado para la normalización de los IDEn y LBEn. Estas herramientas permiten un análisis profundo de las desviaciones, facilitando la identificación de causas raíz y la implementación de soluciones efectivas que restauren y optimicen los parámetros energéticos establecidos.
6.6	Planificación para la recopilación de datos de la energía	Kanban, Sistemas Pull, Métricas Lean	***La organización debe asegurarse de que se identifican, se miden, se hace el seguimiento y se analizan a intervalos planificados (véase 9.1) las características clave de las operaciones de la organización que afectan a su desempeño energético.*** De acuerdo con el Value Stream Mapping (VSM), que proporciona una visión clara del flujo actual y proyectado de procesos, se establecen las bases para la planificación estratégica de recursos en la etapa de Hoshin Kanri. Este enfoque permite alinear los objetivos organizacionales con las necesidades energéticas y operativas. Con la estandarización de procesos, se identifican de manera precisa las necesidades específicas de recursos, como herramientas, maquinarias y mano de obra, mientras que el TPM (Mantenimiento Productivo Total) asegura que los equipos estén en condiciones óptimas para cumplir con los requisitos energéticos y productivos. Mediante la implementación de Lean en los Sistemas de Gestión de Energía (SGEn), es posible determinar de forma eficiente la cantidad y asignación de recursos necesarios en cada etapa del sistema. Esto incluye no solo la operatividad de los procesos productivos, sino también el mantenimiento continuo, la optimización del consumo energético y la mejora del desempeño general del SGEn, fomentando así un uso racional y sostenible de los recursos.

7.1	Recursos	VSM (Estado actual y futuro), Trabajo estandarizado, TPM, Hoshing Planing	***La organización debe determinar y proporcionar los recursos necesarios para el establecimiento, la implementación, el mantenimiento y la mejora continua del desempeño energético y del SGEn.*** De acuerdo con el VSM que es la entrada para proceder con la planificación de los recursos en la etapa de Hosing Kanri, y conociendo las necesidades de recursos de los procesos productivos a través de la estandarización así como las necesidades de herramientas y maquinarias y mano de obra para los mantenimientos, a través del TPM. Mediante la implementación de Lean en los SGEn es posible determinar la cantidad de recursos en cada una de las etapas
7.2	Competencia	PKT, A3 thinking	***La organización debe:*** ***a) Determinar la competencia necesaria de las personas que trabajan bajo su control que afectan a su desempeño energético y al SGEn;*** ***b) Asegurarse de que estas personas son competentes basándose en una educación, formación, habilidades o experiencia apropiadas;*** ***c) Cuando proceda, tomar acciones para adquirir la competencia necesaria, y evaluar la eficacia de las acciones tomadas;*** ***d) Conservar información documentada (véase 7.5) apropiada como evidencia de la competencia*** Kaizen Circles, A3 Thinking, PKT (Entrenamiento Práctico Kaizen), Matriz RACI, Trabajo Estandarizado y Tableros Visuales contribuyen significativamente al desarrollo y gestión de competencias necesarias para el desempeño energético eficiente. Hoshin Kanri y la Matriz RACI permiten identificar y alinear las competencias requeridas en cada nivel organizativo, asegurando que cada persona tenga claras sus funciones y responsabilidades. Kaizen Circles fomentan el aprendizaje continuo y la mejora colaborativa, mientras que PKT brinda formación práctica en entornos reales, desarrollando habilidades críticas y evaluando su efectividad de manera inmediata. A3 Thinking facilita la planificación estructurada y el seguimiento de las acciones formativas, complementado por los tableros visuales que monitorean el avance de la capacitación. Además, el Trabajo Estandarizado documenta las mejores prácticas, asegurando que el conocimiento adquirido se mantenga y se comparta, mientras que PKT genera registros detallados que constituyen evidencia documental de las competencias alcanzadas, tal como lo exige la norma.
7.3	Toma de conciencia	KCA, PKT, Programa de sugerencias, Promoción y Motivación Extrínseca e Intrínseca	***Las personas que realizan un trabajo bajo el control de la organización deben ser conscientes de:*** ***a) la política energética (véase 5.2);*** ***b) su contribución a la eficacia del SGEn, incluyendo el logro de los objetivos y de las metas energéticas (véase 6.2), y los beneficios de un desempeño energético mejorado;*** ***c) el impacto de sus actividades o de su comportamiento con respecto al desempeño energético;*** ***d) las implicaciones de no ser conformes con los requisitos del SGEn.*** Herramientas Lean como **Kaizen Circle Activities (KCA)**, **PKT (Practical Knowledge Transfer)**, **Programas de Sugerencias**, y estrategias de **Promoción y Motivación**. Estas herramientas aseguran que los empleados comprendan la política energética, su contribución a los objetivos del SGEn, el impacto de sus actividades en el desempeño energético y las implicaciones del incumplimiento. Mediante actividades colaborativas de Kaizen, transferencia de conocimientos prácticos, participación en programas de mejora continua y campañas motivacionales, se fomenta una cultura de compromiso, responsabilidad y cumplimiento, fortaleciendo la eficacia del SGEn y la mejora del desempeño energético.
7.4	Comunicación	PKT, 5S (Promotion and Communication), Reportes A3, Andon	***La organización debe determinar las comunicaciones internas y externas pertinentes para el SGEn:*** Las comunicaciones relacionadas con el SGEn, basadas en la cultura Lean, pueden llevarse a cabo mediante la implementación periódica de la herramienta de 5S para la divulgación y comunicación, complementadas con los reportes A3 que presentan el estado actual. En temas operativos, estas comunicaciones resultan aún más efectivas al emplear herramientas de gestión visual, como Andon, que refuerzan la claridad y generan una mayor recordación entre los colaboradores, promoviendo así una comprensión inmediata y efectiva.

7.5	Información documentada	5S (Organización), Todas las herramientas generan un registro	***El SGEn de la organización debe incluir:*** ***a) la información documentada requerida por ese documento;*** **b)** ***la información documentada que la organización determine que es necesaria para la eficacia del SGEn y para demostrar la mejora del desempeño energético.*** La implementación de la herramienta **5S** es clave para cumplir con el numeral **7.5 Información documentada**, ya que permite organizar, gestionar y mantener de manera eficiente la información requerida por el SGEn. A través de la clasificación y eliminación de documentos innecesarios, la organización de la información relevante, el mantenimiento de condiciones óptimas para su almacenamiento, la estandarización de procesos para su manejo y la promoción de hábitos disciplinados, **5S** asegura que la documentación sea precisa, accesible y actualizada. Esto no solo garantiza el cumplimiento normativo, sino que también refuerza la eficacia del SGEn y respalda la mejora continua del desempeño energético.
8.1	Planificación y control operacional	Ver 6.2 y 6.3	Ver 6.2 y 6.3
8.2	Diseño	Jidoka, Heijunka, Tak Time, Diagrama de espagueti, Trabajo estandarizado, TPM, Diagrama de espagueti	***La organización debe considerar las oportunidades para la mejora del desempeño energético y el control operacional en el diseño de instalaciones, equipos, sistemas y procesos que utilizan la energía nuevos, modificados y renovados, que pueden tener un impacto significativo en el desempeño energético sobre la vida operacional planificada o esperada.*** Este requisito puede abordarse eficazmente mediante herramientas Lean como Jidoka que asegura la integración de sistemas que detecten y prevengan errores en el diseño, Heijunka nivela la carga de trabajo para optimizar el uso de recursos energéticos. Takt Time ajusta los diseños a las necesidades reales de demanda energética, y el Diagrama de Espagueti optimiza la disposición de instalaciones y equipos para reducir desplazamientos innecesarios y el consumo energético asociado. Trabajo Estandarizado establece lineamientos claros para diseñar procesos energéticamente eficientes, y TPM garantiza que los equipos diseñados, modificados o renovados operen en condiciones óptimas, maximizando su impacto positivo en el desempeño energético durante su vida útil.
8.3	Adquisiciones	Kanban, Pull System, Diagrama de espagueti TPM	***La organización debe establecer e implementar criterios para evaluar el desempeño energético durante la vida operacional planificada o esperada, al adquirir productos, equipos y servicios que utilicen la energía y que se espera que tengan un impacto significativo sobre el desempeño energético de la organización*** Kanban y Pull System aseguran que los procesos de adquisición estén alineados con las necesidades reales de la organización, evitando el exceso de inventarios y optimizando los recursos. El Diagrama de Espagueti evalúa la disposición y logística de los productos adquiridos, minimizando el impacto energético asociado al transporte interno. TPM garantiza que los equipos adquiridos se mantengan en condiciones óptimas durante su vida útil, maximizando su eficiencia energética. Estas herramientas contribuyen a establecer criterios claros para la selección de productos, equipos y servicios, priorizando su desempeño energético a lo largo de su vida operacional.
9.1.1	Generalidades	Sistema de inspección y zonas de control, Métricas Lean, Kanban, 5S, A3 Thinking	***La organización debe determinar para el desempeño energético*** El Sistema de Inspección y Zonas de Control facilita la identificación temprana de desviaciones significativas en el desempeño energético, mientras que las Métricas Lean permiten medir y monitorear continuamente los indicadores clave. ***La organización debe investigar las desviaciones significativas en el desempeño energético y darles respuesta. La organización debe conservar información documentada sobre los resultados de la investigación y sobre la respuesta*** En casi de generarse una desviación significativa en el desempeño energético, será generado u reporte A3 de problemas proporciona un enfoque estructurado para analizar las causas raíz de las desviaciones y definir planes de acción efectivos. Estas herramientas trabajan en conjunto para investigar, responder y documentar sistemáticamente las desviaciones, asegurando la mejora continua del desempeño energético

9.1.2	Evaluación de la conformidad con los requisitos legales y otros requisitos	Ver 4.2	***A intervalos planificados, la organización debe evaluar su conformidad con los requisitos legales y otros requisitos (véase 4.2) relacionados con su eficiencia energética, su uso de la energía, su consumo de energía y el SGEn*** Ver 4.2
9.2	Auditoría interna	Auditorías KAIZEN	***La organización debe realizar auditorías internas del SGEn a intervalos planificados*** Las auditorías KAIZEN, combinan un enfoque sistemático con la filosofía de mejora continua. Estas auditorías permiten evaluar el desempeño del SGEn a intervalos planificados, identificando desviaciones, oportunidades de optimización y mejores prácticas. El enfoque KAIZEN fomenta la participación activa de los equipos, promoviendo soluciones colaborativas y sostenibles para mejorar la eficiencia energética. Además, garantiza que los resultados de las auditorías se utilicen no solo para verificar el cumplimiento, sino también para impulsar la mejora continua del SGEn y su alineación con los objetivos estratégicos de la organización.
9.3	Revisión por la dirección	Reportes A3, VSM (Estado futuro), Hoshin Kanri	***La alta dirección debe revisar el SGEn de la organización, a intervalos planificados*** Los Reportes A3 proporcionan un formato estructurado y visual para presentar información clave sobre el desempeño del SGEn, incluyendo análisis, desviaciones y planes de mejora. VSM (Estado futuro) facilita la identificación de oportunidades estratégicas para optimizar procesos energéticos, alineándolos con los objetivos organizacionales. Por su parte, Hoshin Kanri asegura que las decisiones de la alta dirección se orienten hacia la mejora continua, conectando los hallazgos de la revisión con las metas estratégicas de la organización. Estas herramientas trabajan en conjunto para garantizar que las revisiones sean eficientes, basadas en datos y orientadas a resultados.
10.1	No conformidad y acciones correctivas	A3 (Resolución de problemas), KAIZEN	***Cuando se identifica una no conformidad, la organización debe:*** ***1. reaccionar ante la no conformidad y, según proceda*** ***2. evaluar la necesidad de acciones para eliminar las causas de la no conformidad, a fin de que no*** ***3. vuelva a suceder ni suceda en otro lugar*** ***4. implementar las acciones necesarias;*** ***5. revisar la eficacia de todas las acciones correctivas tomadas;*** ***6. hacer cambios al SGEn, cuando sea necesario.*** El enfoque estructurado de A3 facilita la documentación y el análisis exhaustivo de las no conformidades, permitiendo identificar sus causas raíz, desarrollar planes de acción precisos para prevenir su recurrencia y realizar un seguimiento riguroso para garantizar la correcta implementación de dichas acciones. Complementariamente, Kaizen, mediante la participación activa de los equipos en procesos de mejora continua, asegura la ejecución eficiente de las acciones correctivas y promueve una evaluación constante de los resultados obtenidos, fomentando así un ciclo de mejora sostenible.
10.2	Mejora continua	KAIZEN, Poka-yoke, Jidoka Programas de Sugerencias, VSM (Estado futuro), Trabajo estandarizado	***La organización debe mejorar continuamente la idoneidad, adecuación y eficacia del SGEn. La organización debe demostrar la mejora continua del desempeño energético.*** Kaizen fomenta mejoras incrementales y constantes, involucrando a todos los niveles de la organización. Poka-yoke y Jidoka garantizan la detección y prevención temprana de errores y la automatización inteligente, evitando el desperdicio energético derivado de fallos operativos. Los Programas de Sugerencias incrementan el compromiso del personal en la identificación de oportunidades de mejora. El VSM permite visualizar el flujo de energía y establecer un plan de acción hacia un estado futuro más eficiente. Heijunka asegura una producción nivelada que evita picos de consumo energético innecesarios. Finalmente, el Trabajo Estandarizado establece una base sólida que permite a los equipos seguir procedimientos óptimos e identificar procesos susceptibles de mejoras y, a partir de ellos, identificar nuevas oportunidades de mejora continua. Este enfoque integral asegura un perfeccionamiento constante en la gestión energética y la eficacia del SGEn.

6. MÉTRICAS DE MEDICIÓN DE EFECTIVIDAD DE LA METODOLOGÍA – INDICADORES DE DESEMPEÑO

Los **Indicadores de Desempeño Energético (IDE)** y las **Líneas de Base Energética (LBE)** son elementos clave en un sistema de gestión de la energía, ya que permiten evaluar y demostrar mejoras en el uso eficiente del recurso energético en una organización.

La Línea de Base Energética (LBE) establece un punto de referencia cuantitativo para comparar el desempeño energético antes y después de implementar mejoras. Su función es evidenciar los cambios y avances mediante la comparación del consumo energético en distintos periodos. Por otro lado, los Indicadores de Desempeño Energético (IDE) son métricas definidas por la organización para monitorear y controlar el consumo energético en procesos, áreas o equipos específicos. Estos indicadores permiten detectar desviaciones, evaluar la efectividad de las acciones implementadas y correlacionar el desempeño energético con variables relevantes (Prias et al., 2019).

Para evaluar la efectividad de la metodología propuesta y en concordancia con los trabajos futuros planteados (ver sección 8), se propone la combinación de Indicadores de Desempeño Energético (IDE) y Líneas de Base Energética (LBE). Esta integración permitirá medir el impacto de la estrategia de eficiencia energética, evaluar su grado de cumplimiento y optimizar la gestión del consumo energético dentro del marco de la norma ISO 50006. De este modo, se fomentará la mejora continua en el desempeño energético de la organización.

La **Ilustración 12** presenta un esquema adaptado de la **NTC ISO 50006**, que visualiza la interacción entre los **Indicadores de Desempeño Energético (IDE)** y las **Líneas de Base Energética (LBE)**. Este esquema permite demostrar de manera clara la mejora en el desempeño energético a lo largo del tiempo.

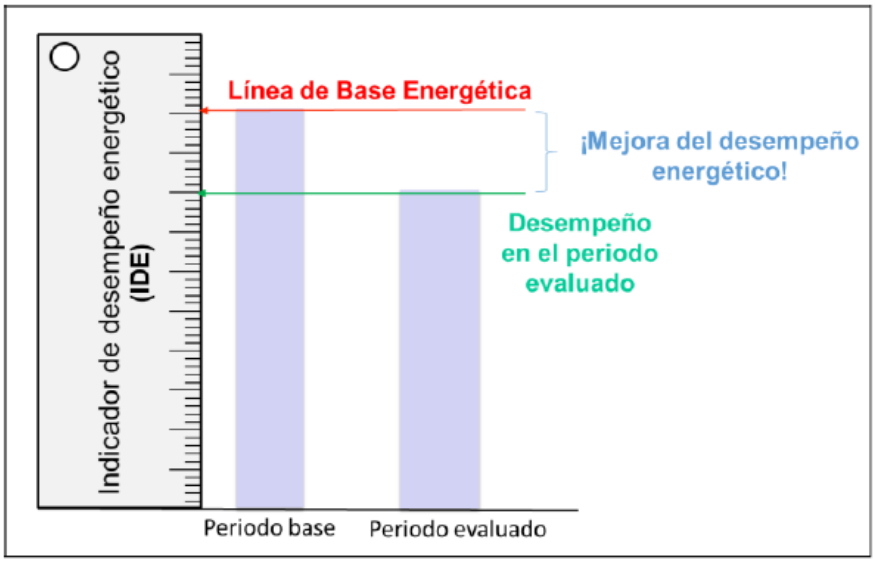


Figura 59: Esquema de medición de la mejora del desempeño energético mediante los IDE y la LBE
Fuente: (Prias et al., 2019)

A continuación, se presentan las métricas propuestas para determinar la efectividad de la metodología:

6.1 LÍNEA BASE

La **línea de base energética (LBE)** debe establecerse a partir de la información obtenida en la revisión energética, considerando un período de tiempo adecuado. Para ello, se deben cumplir las siguientes condiciones:

1. **Período representativo:** Debe incluir ciclos operativos normales y un rango amplio de condiciones típicas, generalmente abarcando **12 meses**.
2. **Estabilidad operativa:** No debe haber cambios tecnológicos, energéticos u operativos significativos dentro del período seleccionado, ya que retroceder más de **cinco años** podría introducir demasiadas variaciones.
3. **Exclusión de eventos atípicos:** Se debe evitar incluir eventos intermitentes o irregulares, como desastres naturales, mantenimientos extraordinarios o cambios operativos abruptos. Sin embargo, si estos eventos son recurrentes, deben considerarse como parte del modo normal de operación.
4. **Disponibilidad de datos:** Es fundamental contar con un registro sólido sobre el consumo de energía y las variables relevantes. Si la calidad de los datos iniciales

es deficiente, se deben fortalecer los sistemas de monitoreo como parte de la mejora continua.

En general, se recomienda utilizar el último año de operación de la empresa, área o equipo como período de referencia, siempre que no hayan ocurrido cambios significativos en los procesos o sistemas que impacten el consumo energético.

6.1.1 Línea de base energética Univariable

El consumo de energía en un proceso productivo se compone de un **componente fijo**, independiente de la producción, y un **componente variable**, que depende directamente de la cantidad de producto transformado.

- **Componente fijo (E_0):** Incluye energía para mantener el proceso (iluminación, ventilación, arranques) y pérdidas constantes (trabajo en vacío, cambios de producto, ineficiencias de mantenimiento).
- **Componente variable (m * P):** Representa la energía utilizada en la transformación de materia prima, expresada como un consumo unitario por unidad de producto.

Este comportamiento se modela mediante la ecuación lineal:

$$E = m * P + Eo$$

Donde:
E es el consumo total de energía
Eo es el valor medio de la energía **NO** asociada a la producción
m es la pendiente o índice de consumo energético del proceso
P es la cantidad de producto transformado.

El modelo puede obtenerse mediante un **análisis de regresión lineal**, utilizando datos seleccionados dentro del período adecuado para la línea de base energética.

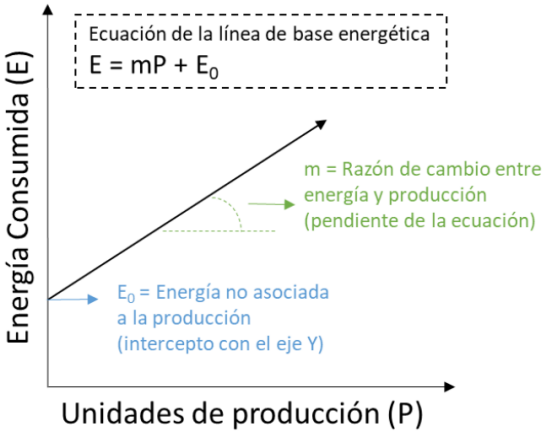


Figura 60: Elementos de una línea base energética univariable
Fuente: (Prias et al., 2019)

6.1.2 Línea de base energética Univariable

Será necesaria cuando intervienen múltiples variables relevantes en el consumo de energía. Por ejemplo, en un proceso productivo donde, además de la cantidad producida, factores como la temperatura influyen significativamente. En estos casos, cada variable tendrá una razón de cambio (**m**) y un factor fijo (**E_0**), que representa la energía no asociada a ninguna de las variables. Este comportamiento se modela mediante la ecuación:

$$E = (m_1 * P_1) + (m_2 * P_2) + (m_3 * P_3) + Eo$$

6.1.3 Revisión y actualización de la línea de base energética.

Las líneas de base energética son esenciales para medir mejoras en el desempeño energético y verificar el cumplimiento de metas en un SGE. Sin embargo, cambios en los factores estáticos, como nuevas tecnologías, ampliaciones o modificaciones en el mix de productos, pueden afectar su validez. En estos casos, es necesario evaluar y, de ser necesario, actualizar la línea base y los indicadores de desempeño energético. Además, la organización puede establecer criterios periódicos de actualización, como una revisión anual. Si los cambios responden a mejoras planificadas, la línea base seguirá siendo una referencia útil para evaluar el impacto de dichas acciones.

6.2 INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO

Para medir el desempeño energético mediante un IDE, la organización debe comparar el valor real con el valor esperado, determinado a partir de una línea base normalizada. El parámetro a medir puede ser definido según las necesidades de la empresa, como el consumo energético por unidad de tiempo, consumo específico de energía o eficiencia de un equipo.

No todos los indicadores energéticos son adecuados para evaluar la mejora del desempeño energético en un SGE. Un IDE no es apropiado si:

- No es comparable con su línea base.
- No está normalizado respecto a variables no controlables.
- No es cuantitativo ni medible.
- No refleja cambios en consumo, uso o eficiencia energética.
- No permite evaluar el desempeño frente a la línea base ni analizar desviaciones significativas.

Para una implementación efectiva de los IDE, es recomendable seguir las directrices de la norma ISO 50006.

A continuación, se presentan los indicadores propuestos para evaluar la efectividad de la metodología, junto con sus ventajas y desventajas. Cabe destacar que algunos de estos indicadores provienen de la metodología Lean y, aunque no están directamente diseñados para medir el consumo energético, se centran en la eficiencia de los procesos, cuyo control y optimización se traducen en una reducción del consumo de energía:

No.	Tipo de indicador	Descripción	Uso	Ventajas	Desventajas	Observaciones
1	**cífico de energía en la industria**	Energía/(producción o resultado). Ej. KWh/Kg; KWh/unidad; MMBTU/Ton	Evaluación del desempeño energético mediante el consumo unitario de energía	Muy usado en la industria. Permite asociación al costo unitario de energía.	Es influenciado por los cambios en la producción o la variable unitaria (denominador) de los períodos a comparar.	Requiere ser utilizado para iguales valores de la producción de los períodos a comparar. Requiere ser utilizado mediante línea base del indicador.
2	**Presupuesto de energía**	Energía * Tarifa. Ej. $/mes; $/año de energéticos.	Evaluación del desempeño energético mensual mediante el cumplimiento del presupuesto de	Indicador usado en otras áreas. Cultura de uso a nivel gerencial.	Es influenciado por los cambios en la producción o la variable unitaria	Requiere ser utilizado para iguales valores de la producción de los períodos a comparar.

			energía.		(denominador) de los períodos a comparar.	Requiere ser utilizado mediante línea base del indicador.
3	**Consumo específico de energía en sector comercial**	Energía/parámetro Ej. KWh/m^2 de superficie; KWh/visitante	Evaluación del desempeño energético mediante el consumo de energía referido a: m^2 de superficie; personas visitantes; número de empleados	En caso de que el consumo de energía se refiera a parámetros que no cambian (m^2 de superficie) es preciso.	En caso de que el consumo de energía esté referido a parámetros que cambian (cantidad de empleados; visitantes), es influenciado por los cambios de estos parámetros de los períodos a comparar.	Requiere ser utilizado para iguales valores de los parámetros que pueden cambiar de los períodos a comparar. Requiere ser utilizado mediante línea base del indicador.
4	**Consumo de energía/unidad de tiempo**	kWh/mes; kWh/año	Evaluación del desempeño por consumo de energía en iguales períodos de tiempo.	Permite rápida asociación al costo de la energía.	Es preciso para evaluar el desempeño solo cuando las variables no controlables por la gestión se mantienen constantes (temperatura ambiente, producción, visitantes, etc.).	Requiere ser utilizado mediante línea base del indicador.
5	**Modelos de línea base**	E = m*P* + *E0 E = m1*V1 + m2*V2* +...+ *mn*Vn + E0 Donde: E = consumo de energía; m1, m2...mn = constantes del modelo; P = producción; V1, V2,...Vn = variables significativas no controlables; E0 = constante	Evaluación del desempeño energético mediante comparación del indicador real con un indicador base, obtenido mediante un modelo univariable o multivariable, estadístico, en un período base	Mayor precisión en la evaluación del desempeño al considerar más variables.	Mayor complejidad por la elaboración de la línea base y la identificación de las variables que deben integrar el modelo.	Requiere de una selección adecuada de la información del período base, de las variables que intervienen en el modelo y de la verificación del grado de significación del modelo.
6	**Disponibilidad (LEAN)**	(Tiempo de carga-Tiempo de inactividad)/(Tiempo de carga)	Evalúa la disponibilidad del proceso o equipo considerando el tiempo que está en operación	Permite identificar tiempos muertos e ineficiencias en el uso de los recursos.	No considera la eficiencia energética directamente.	Puede utilizarse junto con otros indicadores para evaluar su impacto en el consumo energético.
7	**Desempeño (LEAN)**	(Tiempo operativo neto-Tiempo perdido)/(Tiempo operativo neto)	Mide la eficiencia del proceso en función del tiempo productivo efectivo	Identifica pérdidas de tiempo en el proceso y oportunidades de mejora en la productividad.	No toma en cuenta el consumo de energía directamente.	Puede complementarse con otros indicadores energéticos para evaluar su impacto.
8	**Índice de calidad (LEAN)**	(Cantidad de productos fabricados-Cantidad de productos defectuosos)/(Cantidad de productos fabricados)	Mide la calidad del proceso en función de la cantidad de productos defectuosos	Permite evaluar la eficiencia en términos de calidad y reducir desperdicios.	No considera el impacto energético de los productos defectuosos.	Reducción de defectos puede contribuir a menor desperdicio de energía.

9	**OEE (LEAN)**	Disponibilidad X Desempeño X Índice de calidad	Evalúa la eficiencia total de un equipo o proceso considerando disponibilidad, desempeño y calidad	Permite una visión integral del desempeño del proceso.	No mide directamente el consumo energético, pero influye en su eficiencia.	Puede complementarse con indicadores energéticos para una evaluación más completa.

Tabla 9: Integración sinérgica entre SGEn y Lean Manufacturing
Fuente: Elaboración propia basada en (Prias et al., 2019)

6.2.1 Indicadores usados en la medición de mejora del desempeño energético

Para evaluar las mejoras en el desempeño energético con respecto a la línea base, se pueden utilizar indicadores como:

6.2.1.1. Indicador Base 100 (IB 100).

Este indicador mide el comportamiento del consumo energético en relación con la línea base, tomando el valor **100** como referencia de cumplimiento. Permite cuantificar el porcentaje de mejora o deterioro del desempeño energético debido a cambios en la eficiencia tecnológica, prácticas de uso de energía o estado de mantenimiento.

Se calcula con la fórmula:

$$IB100 = \left(\frac{ELB}{Er}\right) * 100$$

Donde:

- **ELB**: Energía teórica según la línea base.
- **Er**: Consumo real medido.
- **P**: Producción realizada medida, para el valor de consumo **Er**.

Interpretación:

- **IB 100 > 100%** → Mejora en el desempeño, ya que el consumo real es menor al de la línea base.
- **IB 100 < 100%** → Deterioro en el desempeño, pues el consumo real supera el de la línea base.

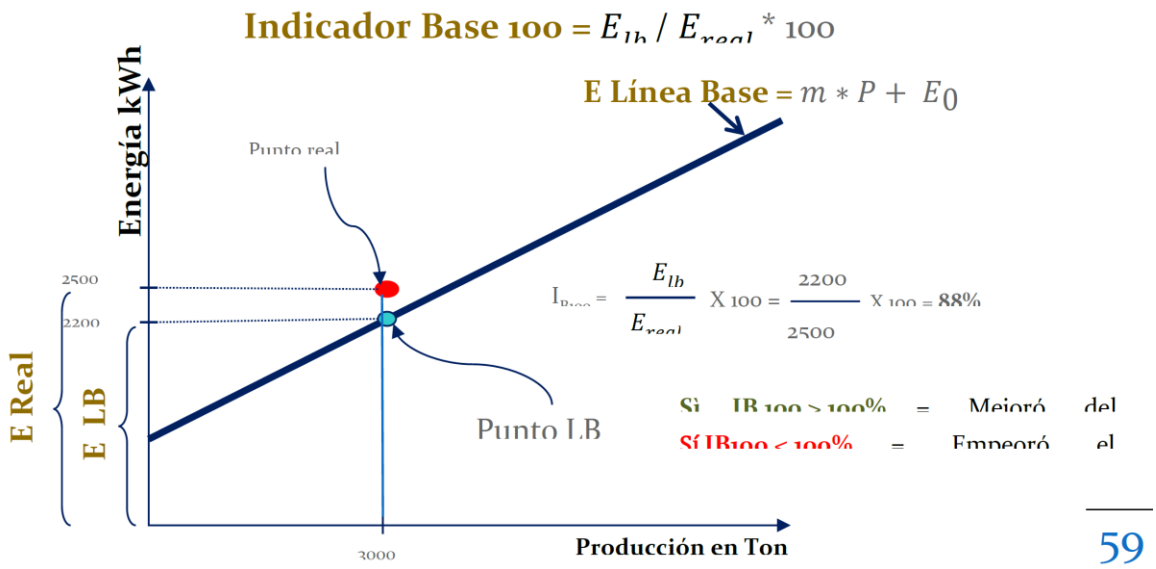


Figura 61: Descripción del IB100
Fuente: (Prias et al., 2019)

6.2.1.2. Indicador de tendencia del desempeño Energético.

Este indicador analiza la tendencia acumulada de las desviaciones entre el consumo real de energía y el de la línea base energética. Su comportamiento puede seguir tres patrones:

1. **Oscilaciones alrededor de cero:** No hay una variable predominante que afecte el consumo, indicando estabilidad en el proceso.
2. **Tendencia ascendente:** El consumo real supera constantemente el de la línea base, reflejando un desempeño energético deficiente.
3. **Tendencia descendente:** El consumo real es menor al de la línea base, indicando una mejora en el desempeño energético.

Un cambio en la tendencia o en la pendiente del gráfico sugiere la influencia de nuevas variables en el consumo de energía.

Para calcular este indicador, se usa la técnica **CUSUM (Cumulative Sum)**, que representa la suma acumulada de las desviaciones entre el consumo real y el de la línea base: $Suma\ acumulativa = (E_r - E_{LB})_i + (E_r - E_{LB})_{i-1}$

Donde:

- $(E_r - E_{LB})_i$: Diferencia entre el valor del consumo de energía real respecto al consumo de la línea de base energética para el periodo i.

- $(E_r - E_{LB})_{i-1}$: Diferencia entre el valor del consumo de energía real respecto al consumo de la línea de base energética para el periodo i.

El primer valor coincide con la diferencia inicial, y los valores siguientes se van sumando progresivamente.

6.2.1.3. Indicador de emisiones de CO2

El ahorro energético en cualquier proceso conlleva una reducción de emisiones indirectas de CO_2, dependiendo de la fuente de energía o combustible utilizado.

El Factor de Emisión representa la cantidad de CO_2 liberada por unidad de energía consumida. El indicador de emisiones de CO_2 compara las emisiones reales con las estimadas en la línea base, calculándose como el producto del ahorro o sobreconsumo por el factor de emisión de CO_2e.

Expresado en kg de CO_2e, este indicador permite evaluar el impacto ambiental del consumo energético en un proceso, considerando la fuente de energía utilizada. Este indicador nos brinda información de las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO2e) dejadas de emitir o emitidas respecto a la línea de base energética establecida.

6.2.1.4. Indicador del presupuesto de energía

Este indicador compara el consumo energético real con el presupuesto basado en la línea base, identificando desviaciones y sus causas para tomar acciones correctivas.

El seguimiento permite analizar variaciones en el presupuesto debido a:

- **Eficiencia energética**: Diferencia entre el consumo real y el estimado por la línea base, multiplicado por la tarifa proyectada.
- **Producción**: Cambio en el consumo de energía debido a diferencias entre la producción real y proyectada.
- **Tarifa de energía**: Impacto de la diferencia entre la tarifa real y proyectada sobre el consumo real.

El seguimiento permite analizar variaciones en el presupuesto debido a:

a) Eficiencia Energética: Representa el impacto de la eficiencia en el presupuesto y se calcula como:

$$\Delta CP_{Eficiencia} = (E_{real} - E_{teórica}) * T_{proy}$$

Donde:

- (E_{real})= Energía medida
- $(E_{teórica})$=$E_0 + m * P_{real}$ (Energía estimada según línea base)
- T_{proy}=Tarifa proyectada

b) Producción: Evalúa el impacto del cambio en producción sobre el presupuesto energético:

$$\Delta CP_{Producción} = m * (P_{real} - P_{Proy}) * T_{proy}$$

Donde:

- (m)= Energía medida
- (P_{Real})=Producción real
- P_{proy}=Producción proyectada

c) Tarifa de energía: Mide el impacto de las variaciones tarifarias sobre el presupuesto:

$$\Delta CP_{Tarifa} = E_{real} * (T_{real} - T_{Proy})$$

Donde:

- (T_{Real})=Tarifa real
- T_{proy}=Tarifa proyectada

La Variación Total del Costo Presupuestado es:

$$\Delta CP_{Total} = \Delta CP_{Eficiencia} + \Delta CP_{Producción} + \Delta CP_{Tarifa}$$

7. VALIDACIÓN TEÓRICA DE LA METODOLOGÍA MEDIANTE EL JUICIO DE EXPERTOS

La validación teórica de la metodología propuesta, orientada a integrar el sistema de gestión de energía basado en la norma ISO 50001 con la filosofía Lean Manufacturing para el sector manufacturero en Colombia, será llevada a cabo mediante la técnica de juicio de expertos. El juicio de expertos es un método de validación útil para verificar la fiabilidad de una investigación que se define como “una opinión informada de personas

con trayectoria en el tema, que son reconocidas por otros como expertos cualificados en éste, y que pueden dar información, evidencia, juicios y valoraciones"(Robles Garrote et al., 2015). Esta herramienta permite evaluar la pertinencia, claridad, aplicabilidad y coherencia de la metodología desarrollada, a través de la valoración y retroalimentación proporcionada por profesionales con amplia experiencia en gestión energética, implementación de la norma ISO 50001 y aplicación de Lean Manufacturing en entornos industriales. La selección de los expertos será realizada bajo criterios rigurosos que garanticen la idoneidad de los participantes, mientras que la recolección de información será efectuada mediante un cuestionario diseñado para recopilar opiniones cualitativas y cuantitativas. La utilización del juicio de expertos permitirá identificar aspectos de mejora, fortalecer la propuesta metodológica y validar su adecuación a las necesidades y realidades del sector manufacturero colombiano.

7.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE EXPERTOS

Para garantizar la objetividad y la calidad en la validación de la metodología desarrollada, se establecieron criterios de selección rigurosos para la conformación del panel de expertos. La selección se orientó a identificar profesionales con experiencia relevante en los ámbitos de eficiencia energética, gestión industrial, gestión de proyectos, implementación de la norma ISO 50001 y la filosofía Lean Manufacturing, con un enfoque

7.1.1 Criterios de inclusión

Los expertos fueron seleccionados con base en los siguientes criterios:

- **Formación académica:** Profesionales con título en ingeniería eléctrica, ingeniería industrial o áreas afines, que cuenten con estudios de especialización, maestría o doctorado en campos relacionados, tales como gestión de la energía, gestión de proyectos u otras disciplinas pertinentes.
- **Experiencia profesional:** Mínimo **cinco (5) años de experiencia** en la implementación de sistemas de gestión de la energía, proyectos de eficiencia energética, energías renovables o prácticas Lean Manufacturing en industrias manufactureras.

- **Participación en proyectos relevantes:** Haber participado en proyectos relacionados con la norma ISO 50001, metodologías Lean o integración de sistemas de gestión en el sector industrial.
- **Conocimiento del contexto colombiano:** Se priorizó a expertos con experiencia directa en el sector manufacturero colombiano para considerar las particularidades normativas, culturales y operativas del país.
- **Producción académica y técnica:** Preferiblemente autores de publicaciones, conferencias o consultorías en temas relacionados con eficiencia energética o gestión industrial.

7.1.2 Criterios de exclusión

Se excluyeron aquellos profesionales que, a pesar de cumplir con los criterios anteriores, presentaban:

- Conflictos de interés con el desarrollo del proyecto.
- Experiencia limitada exclusivamente a áreas administrativas sin relación directa con la gestión de la energía o la implementación de metodologías Lean.
- Disponibilidad restringida que impidiera su participación efectiva en las etapas de evaluación.

7.1.3 Tamaño y composición del panel

Dada la dificultad para identificar expertos con conocimiento tanto de la industria colombiana como de la gestión del recurso energético y la filosofía Lean Manufacturing, se estableció que el panel estará conformado por un mínimo de tres (3) y un máximo de cinco (5) especialistas. Esta cantidad garantiza un equilibrio adecuado entre la diversidad de perspectivas y la viabilidad del proceso de evaluación. La selección buscará integrar profesionales del sector académico, consultores independientes y representantes de la industria manufacturera y del sector energético, lo que permitirá obtener una visión integral y enriquecedora para la validación de la metodología propuesta.

7.1.4 Justificación de la selección

La definición de estos criterios asegura que los expertos seleccionados posean las competencias y la experiencia necesarias para proporcionar retroalimentación valiosa y

objetiva. La inclusión de expertos familiarizados con el entorno manufacturero colombiano permite que las observaciones realizadas sean pertinentes y ajustadas a la realidad del sector, fortaleciendo así la aplicabilidad y relevancia de la metodología desarrollada.

7.2 INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN

Para llevar a cabo la validación de la metodología desarrollada, se diseñó un instrumento de evaluación que permitió recopilar de forma estructurada las apreciaciones, sugerencias y valoraciones del panel de expertos. El instrumento fue elaborado considerando la naturaleza del proyecto, los objetivos de la metodología integrada de gestión energética basada en ISO 50001 y la filosofía Lean Manufacturing, y la pertinencia para el sector manufacturero colombiano.

7.2.1 Estructura del instrumento

El instrumento desarrollado para la evaluación mediante el juicio de expertos consistió en un cuestionario dividido en cuatro secciones principales:

1. **Datos generales del evaluador:** Recopila información básica del experto, como formación académica, años de experiencia y área de especialización.
2. **Conocimiento previo de la metodología propuesta:** Los expertos deben conocer con anterioridad la propuesta realizada, para asegurar que los resultados sean objetivos
3. **Evaluación de la metodología propuesta:** Se presentan los componentes principales de la metodología para que los expertos evalúen aspectos como:
   - Claridad y coherencia de los pasos propuestos.
   - Relevancia y aplicabilidad en el sector manufacturero colombiano.
   - Integración efectiva entre la norma ISO 50001 y la filosofía Lean.
   - Viabilidad de implementación en entornos industriales.
   - Valoración de la innovación y el aporte práctico: Evalúa el grado de innovación de la metodología y su potencial para generar mejoras reales en la eficiencia energética.
4. **Sugerencias y comentarios:** Sección abierta para observaciones, recomendaciones y propuestas de mejora.

7.2.2 Escala de medición:

Para las secciones de valoración, se utilizó una escala tipo Likert de 5 puntos para medir el grado de acuerdo de los expertos con cada enunciado. Con este método se supone que todos los ítems miden con la misma intensidad la actitud que se desea medir y es el encuestado quien le da una puntuación, normalmente de uno a cinc, en función de su posición frente a la afirmación sugerida por el ítem. La actitud final que se asigna al encuestado será la media de la puntuación que éste da a cada uno de los ítems del cuestionario (Guil Bozal, 2006), a continuación, se presentan las posibles valoraciones :

- 1: Totalmente en desacuerdo
- 2: En desacuerdo
- 3: Neutral
- 4: De acuerdo
- 5: Totalmente de acuerdo

Esta escala permitirá cuantificar la percepción general y facilitar el análisis estadístico posterior.

7.2.3 Validación previa del instrumento:

Previo a su aplicación, el instrumento fue revisado mediante una prueba piloto con uno de los expertos para garantizar la claridad de las preguntas, la pertinencia de los ítems y la facilidad de comprensión. Se realizaron los ajustes necesarios con base en la retroalimentación obtenida.

7.2.4 Cuestionario para la validación de la metodología: "PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA INTEGRADA DE GESTIÓN ENERGÉTICA BASADA EN ISO 50001 Y EL ENFOQUE LEAN PARA EL SECTOR MANUFACTURERO EN COLOMBIA":

A continuación, se presenta el resultado final de la encuesta que será realizada a cada uno de los expertos:

Estimado(a) experto(a):

El presente cuestionario tiene como propósito recopilar su valiosa opinión para la validación de la propuesta de la metodología integrada de gestión energética “MGEnL” basada en ISO 50001 y el enfoque lean para el sector manufacturero en Colombia. Sus respuestas serán fundamentales para evaluar la pertinencia, claridad, aplicabilidad y coherencia de la propuesta, contribuyendo así a su fortalecimiento y adecuación a las necesidades del sector. La información proporcionada será tratada con estricta confidencialidad y utilizada únicamente con fines académicos. Agradecemos de antemano su tiempo y colaboración en este proceso.

Sección 1: Datos generales del evaluador

Nombre (opcional): _____
Título profesional: _____
Posgrado: _____
Años de experiencia profesional: _____
Cargo Actual: _____
Organización: _____
Experiencia en temas de:

- ☐ **Gestión Energética**
- ☐ **Lean Manufacturing**
- ☐ **ISO 50001**
- ☐ **Sector Manufacturero**
- ☐ **Otro relacionado ¿Cuál?:** _____

Sección 2: Conocimiento previo

Antes de continuar con el cuestionario, le agradecemos indicarnos lo siguiente:
¿Le ha sido socializada, y conoce usted en detalle “la propuesta de la metodología integrada de gestión energética “MGEnL” basada en ISO 50001 y el enfoque lean para el sector manufacturero en Colombia”?

- ☐ **Si, la conozco en detalle.**
- ☐ **Si, pero de forma general.**

☐ **No, no la conozco**

Sección 3: Evaluación de la metodología propuesta

Si su respuesta a la pregunta anterior es positiva, evalúe las siguientes afirmaciones sobre la metodología propuesta. Para cada ítem, asigne una calificación según la escala indicada y añada comentarios donde considere pertinente.

Escala de valoración:

1 – Totalmente en desacuerdo | 2 - En desacuerdo | 3 - Neutral | 4 - De acuerdo | 5 - Totalmente de acuerdo

Aspecto	Concepto	1	2	3	4	5	Comentarios
1. Claridad y coherencia	Las etapas de la metodología son lógicas y coherentes						
	La metodología está claramente estructurada.						
	La propuesta es fácil de entender para cada uno los involucrados.						
	El orden de los pasos facilita la comprensión del proceso.						
	La relación entre etapas está bien definida.						
	Se evitan ambigüedades en la descripción de la metodología.						
	Se tiene claridad de las herramientas Lean aplicables a cada etapa del proceso productivo y su metodología de implementación						
2. Relevancia y aplicabilidad en el sector manufacturero colombiano	La metodología es aplicable al sector manufacturero colombiano.						
	Se consideran adecuadamente las particularidades del contexto colombiano.						
	El enfoque es innovador para la industria.						
	La metodología aborda las necesidades específicas del sector.						
	El contenido es adaptable a distintos tipos de manufactura en el país.						
	La metodología considera las regulaciones y normas locales.						
	Se identifican soluciones prácticas para la industria nacional.						
	La propuesta considera desafíos logísticos y operativos típicos de la industria colombiana.						

3. Integración efectiva entre la norma ISO 50001 y la filosofía Lean	Se comprende claramente la integración entre ISO 50001 y Lean						
	La metodología promueve la reducción de desperdicios energéticos.						
	La propuesta facilita la mejora de la eficiencia energética.						
	Se logra un equilibrio adecuado entre los requisitos normativos y las prácticas Lean.						
	La integración propuesta simplifica la implementación de ambos enfoques.						
	Se evidencia la complementariedad entre las herramientas Lean y la ISO 50001.						
	La metodología facilita el seguimiento y control de indicadores energéticos.						
	La propuesta promueve la mejora continua en la gestión energética.						
4. Viabilidad de implementación en entornos industriales	Se evidencia la viabilidad para su implementación en la industria.						
	La metodología considera recursos, tiempos y capacidades del sector.						
	La propuesta facilita la toma de decisiones en entornos industriales.						
	La implementación no genera barreras operativas significativas.						
	La metodología se adapta a las capacidades tecnológicas de la industria colombiana						
	La propuesta considera el costo-beneficio para la industria manufacturera.						
	Se contempla la capacitación necesaria para la implementación.						
	La metodología se ajusta a la infraestructura disponible en las plantas industriales.						
5. Valoración de la innovación y aporte práctico	La metodología presenta elementos innovadores para la industria.						
	Se contribuye a la mejora de procesos existentes.						
	Se promueve un enfoque práctico para la implementación.						
	Se ofrecen soluciones sostenibles y de bajo costo.						
	La metodología aporta valor añadido en la toma de decisiones.						
	Se incentiva la adopción de buenas prácticas en gestión energética.						
	La propuesta puede adaptarse a futuros desarrollos tecnológicos.						

	Se promueve la sostenibilidad y responsabilidad ambiental.						
	La metodología impulsa la competitividad del sector manufacturero.						
	Se identifican oportunidades de replicabilidad en otros sectores.						

Sección 4: Sugerencias y comentarios adicionales

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Agradecemos sinceramente su tiempo y valiosos aportes para el fortalecimiento de esta propuesta metodológica.

7.3 RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN TEÓRICA

Para dar paso a la presentación de los resultados obtenidos mediante el juicio de expertos, es fundamental resaltar la importancia de este proceso en la validación teórica de la metodología integrada de gestión energética "MGEnL". A través de la participación de profesionales con amplia experiencia en Lean Manufacturing, gestión energética e implementación de la norma ISO 50001 en el sector manufacturero colombiano, se logró evaluar la pertinencia, aplicabilidad y viabilidad del modelo propuesto.

El análisis de las respuestas obtenidas permitió identificar fortalezas clave de la metodología, tales como su clara estructuración, la integración efectiva entre Lean Manufacturing e ISO 50001 y su potencial para mejorar la eficiencia energética en entornos industriales. Asimismo, se evidenciaron oportunidades de mejora relacionadas con la adaptación de la metodología al contexto normativo colombiano, la necesidad de estrategias adicionales para facilitar su implementación y la recomendación de incluir herramientas de digitalización y automatización para optimizar el seguimiento de indicadores.

A continuación, se presentan los resultados detallados de la evaluación, los cuales servirán como insumo fundamental para el refinamiento y fortalecimiento de la propuesta metodológica (Ver Figura 62, Figura 63, Figura 64, Figura 65).



Figura 62: Resultado del juicio obtenido para el experto No. 1
Fuente: Elaboración propia



Figura 63: Resultado del juicio obtenido para el experto No. 2
Fuente: Elaboración propia

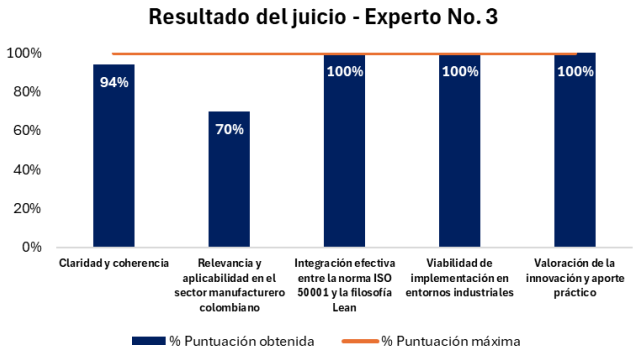


Figura 64: Resultado del juicio obtenido para el experto No. 3
Fuente: Elaboración propia

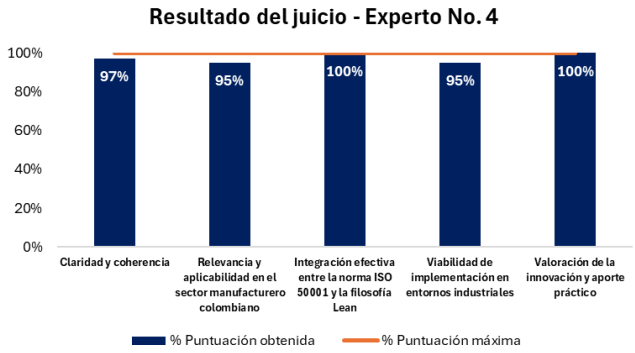


Figura 65: Resultado del juicio obtenido para el experto No. 4
Fuente: Elaboración propia

La evaluación realizada demuestra que la metodología propuesta de integración entre la norma ISO 50001 y la filosofía Lean presenta un alto nivel de aceptación y valoración en sus aspectos técnicos y estructurales, alcanzando calificaciones sobresalientes en la mayoría de los criterios evaluados. Esta metodología constituye una aproximación innovadora y bien estructurada que potencialmente transformará los procesos de gestión energética en el sector manufacturero. Los expertos destacan su claridad estructural, coherencia lógica y la efectiva integración de herramientas Lean con los requisitos de la norma ISO 50001, lo que permite una gestión energética más eficiente y sostenible. Sin embargo, se identifican áreas de mejora que, de ser abordadas, podrían potenciar aún más su impacto y adopción en la industria. A continuación, se presenta el análisis obtenido para cada uno de los 5 componentes evaluados, de acuerdo con la Figura 66



Figura 66: Resultado final del juicio de expertos (Diagrama radar)
Fuente :Elaboración propia

1. **Claridad y coherencia:**

   Los expertos otorgaron una valoración promedio del 91 % en este criterio, lo que indica que la metodología presenta una estructura lógica y coherente, facilitando su comprensión e implementación. No obstante, se identificó la necesidad de incorporar un glosario con términos especializados para consolidar la terminología utilizada y mejorar la accesibilidad del contenido para los distintos actores involucrados en su aplicación.

2. **Relevancia y aplicabilidad en el sector manufacturero colombiano**

   Este aspecto obtuvo la menor puntuación promedio (82 %), lo que sugiere que, si bien la metodología es relevante para el sector manufacturero colombiano, requiere una mayor adaptación a sus particularidades. Se recomienda fortalecer el análisis de las normativas locales, especialmente en lo referente al sector energético, e incluir estrategias diferenciadas que permitan su aplicación en distintos subsectores de la manufactura.

3. **Integración efectiva entre la norma ISO 50001 y la filosofía Lean**

   La metodología alcanzó una calificación del 97 % en este criterio, lo que refleja un alto nivel de aceptación en cuanto a la complementariedad entre la norma ISO 50001 y los principios Lean. Los expertos resaltaron el potencial del enfoque propuesto para la

reducción de desperdicios energéticos y la mejora en la eficiencia del uso de los recursos. Como recomendación, se sugiere ampliar la inclusión de ejemplos prácticos que evidencien la implementación de la metodología en diferentes entornos industriales.

4. **Viabilidad de implementación en entornos industriales**
   Con un 89 % de valoración, la viabilidad de implementación es reconocida como alta, aunque los expertos señalaron la importancia de detallar con mayor precisión los recursos, tiempos y capacidades necesarias para su adopción en la industria. Asimismo, se destacó la necesidad de mitigar posibles barreras operativas y resistencias del personal, proponiendo la creación de un manual de implementación estructurado que facilite la adopción de la metodología sin generar impactos negativos en la operación de las plantas.
5. **Valoración de la innovación y aporte práctico**
   Este criterio obtuvo la calificación más alta (96 %), lo que indica que la propuesta metodológica es percibida como innovadora y con un alto valor agregado para la industria manufacturera. La integración entre Lean e ISO 50001 es vista como un enfoque novedoso que optimiza la eficiencia energética y la competitividad del sector. Se recomienda, además, explorar la posibilidad de replicabilidad de la metodología en otros sectores productivos, ampliando su impacto y alcance.

Áreas de Oportunidad

1. **Adaptación al Contexto Colombiano:**
   Aunque la metodología se basa en la norma ISO 50001, que es de alcance global, se sugiere incorporar más referencias a las regulaciones locales (como el RETIE, RETILAP y RETIQ) y alinear la propuesta con los objetivos del plan de desarrollo nacional en materia energética y ambiental.
2. **Mayor Detalle en la Implementación:**
   Los expertos recomiendan incluir guías paso a paso, casos de estudio y ejemplos prácticos de implementación en empresas colombianas. Esto facilitaría la comprensión y adopción de la metodología, especialmente para empresas con menor experiencia en Lean o ISO 50001.
3. **Capacitación y Comunicación:**

Se sugiere desarrollar materiales de capacitación diferenciados para distintos niveles organizacionales, con el fin de facilitar la comprensión de conceptos técnicos complejos. Además, se recomienda incluir un glosario de términos para evitar confusiones.

4. **Herramientas de Soporte y Digitalización:**
   Para mejorar el seguimiento de indicadores y la toma de decisiones, se recomienda integrar herramientas digitales y estrategias de automatización, como Industria 4.0 e IoT, que potencien los beneficios de la metodología.
5. **Análisis de Costo-Beneficio:**
   Aunque la metodología incluye indicadores para evaluar la relación costo-beneficio, se sugiere profundizar en este aspecto, especialmente para diferentes tamaños de empresas, con el fin de incrementar su atractivo y facilitar su adopción.

Recomendaciones Estratégicas

1. **Validación Piloto:**
   Se recomienda realizar pruebas piloto en empresas manufactureras colombianas para validar la metodología en entornos reales y ajustarla según las particularidades del contexto local.
2. **Manual de Implementación:**
   Elaborar un manual estructurado que incluya directrices claras, estrategias de implementación y herramientas prácticas para minimizar resistencias y optimizar la integración en las operaciones diarias.
3. **Inclusión de Casos de Éxito:**
   Incorporar casos de éxito y mejores prácticas específicas de la industria colombiana, lo que permitiría demostrar la adaptabilidad de la metodología a diferentes subsectores y contextos.
4. **Enfoque en la Digitalización:**
   Integrar estrategias de digitalización y automatización para mejorar el monitoreo de indicadores energéticos y optimizar la gestión basada en datos.
5. **Análisis de Stakeholders:**

Realizar un análisis detallado de los stakeholders involucrados en la implementación de la metodología, con el fin de alinear las necesidades específicas de cada empresa y garantizar una adopción más efectiva.

7. CONCLUSIONES

1. El enfoque de la gestión basado en ciclos PDCA (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar), junto con su énfasis en procesos y objetivos, constituye un pilar fundamental tanto en la filosofía Lean Manufacturing como en los Sistemas de Gestión de Energía (SGE) basados en la norma ISO 50001. Esta convergencia de principios sugiere la existencia de una complementariedad intrínseca entre ambas metodologías, lo que permite su integración y fomenta la posibilidad de maximizar los beneficios en términos de uso eficiente de los recursos energéticos. La alineación de ambas metodologías no solo respalda la hipótesis de su compatibilidad (ver sección 3.4.1), sino que también establece un marco robusto para el desarrollo de sistemas de gestión más eficientes, donde la optimización energética se aborda desde una perspectiva integral que combina las mejores prácticas de ambos enfoques.

2. El análisis bibliométrico y cronológico de la literatura consultada proporciona evidencia sustancial que respalda la hipótesis de una relación directa entre los sistemas de gestión de energía ISO 50001 y Lean Manufacturing. La evolución temporal de las publicaciones muestra una progresión natural desde el enfoque inicial en la gestión energética hacia la integración con conceptos de eficiencia energética, gestión de desperdicios y producción Lean, culminando en aplicaciones orientadas a la sostenibilidad industrial. Esta trayectoria evolutiva, respaldada por el análisis de redes bibliográficas, demuestra no solo la existencia de una conexión teórica entre ambas metodologías, sino también una convergencia práctica en su aplicación industrial. La estrecha relación identificada entre la gestión energética, la eficiencia energética y las herramientas Lean confirma que la integración de estos sistemas no es solamente conceptual, sino que representa una tendencia emergente en la optimización de recursos energéticos industriales, validando así la premisa fundamental de este

trabajo de investigación sobre la viabilidad y beneficios potenciales de su implementación conjunta.

3. El juicio de expertos, llevado a cabo con profesionales especializados en Lean Manufacturing, gestión energética e implementación de la norma ISO 50001 en el sector manufacturero colombiano, proporciona evidencia sólida que valida la viabilidad de la integración teórica entre ambos sistemas. La evaluación sistemática de la metodología MGEnL arrojó resultados que respaldan firmemente el objetivo de determinar la factibilidad de esta convergencia metodológica.

   La calificación del (97%) otorgada al criterio de "Integración efectiva entre la norma ISO 50001 y la filosofía Lean" confirma que existe una complementariedad natural entre ambos enfoques. Los expertos destacaron explícitamente que los principios de eliminación de desperdicios, característicos de Lean, se alinean coherentemente con los objetivos de optimización energética de la ISO 50001, generando sinergias que potencian mutuamente los beneficios de ambas metodologías.

   Además, la valoración sobresaliente (96%) del componente "Innovación y aporte práctico" ratifica que esta integración no solo es teóricamente viable, sino que representa una aproximación innovadora con un alto potencial para transformar la gestión energética en entornos industriales. Por otro lado, el análisis del criterio "Viabilidad de implementación en entornos industriales" (89%) proporciona evidencia adicional sobre la aplicabilidad práctica de esta integración teórica, confirmando que la convergencia entre ISO 50001 y Lean Manufacturing trasciende el ámbito conceptual para constituirse en una aproximación factible y efectiva para el sector manufacturero.

   En conclusión, el juicio de expertos ofrece una validación profesional y empírica que confirma de manera inequívoca la viabilidad de la integración teórica entre los sistemas de gestión de energía basados en la norma ISO 50001 y las herramientas de Lean Manufacturing. Estos resultados cumplen satisfactoriamente con el objetivo No. 2 planteado en esta investigación, consolidando la metodología MGEnL como una propuesta robusta y aplicable en el contexto industrial.

4. La contextualización de los principios y herramientas de Lean Manufacturing con potencial de integración en el Sistema de Gestión de la Energía (SGEn) ha permitido identificar aquellos enfoques metodológicos que, al ser adaptados al entorno energético industrial, pueden contribuir significativamente a la optimización del uso de la energía. La aplicación de principios y herramientas Lean, demuestra que dicha

filosofía, enfocada tradicionalmente en la eliminación de desperdicios para la optimización de procesos, puede extenderse más allá de los procesos productivos convencionales para abordar el desperdicio energético de manera efectiva.

5. La propuesta del modelo de integración entre Lean Manufacturing y el Sistema de Gestión de la Energía basado en la norma ISO 50001 ha permitido combinar de manera sinérgica los principios de ambas metodologías, estableciendo un marco integral orientado a maximizar la eficiencia energética en entornos industriales. Este modelo aprovecha la capacidad de Lean para eliminar desperdicios y optimizar procesos, mientras que la norma ISO 50001 aporta una estructura formal para la gestión sistemática de la energía, asegurando el cumplimiento de objetivos energéticos específicos. En definitiva, este modelo integrado ha sido generado no solo para la reducción del consumo energético y los costos asociados, sino también para la mejora de la sostenibilidad operativa y el desempeño global de las industrias manufactureras del país.

8. RECOMENDACIONES Y FUTUROS TRABAJOS

1. Se recomienda validar el modelo propuesto mediante la implementación de pruebas piloto en una industria manufacturera preferiblemente localizada en sectores de Colombia con alto consumo energético, como el eléctrico, metalmecánico, plástico o alimenticio. Esta validación permitirá evaluar en un entorno real la efectividad de la integración entre el sistema de gestión de energía basado en la norma ISO 50001 y la metodología Lean Manufacturing. Adicionalmente, se podrán identificar oportunidades de mejora en el modelo, así como barreras prácticas para su adopción, generando insumos valiosos para futuras investigaciones y refinamientos metodológicos. La realización de estas pruebas piloto contribuirán a demostrar los beneficios tangibles en términos de eficiencia energética, reducción de desperdicios y mejora continua en el contexto industrial colombiano.
2. Con base en los hallazgos de esta investigación sobre la integración de sistemas de gestión energética y Lean Manufacturing, se recomienda expandir el alcance de esta sinergia hacia otros sistemas de gestión críticos en el entorno industrial.

Específicamente, se sugiere explorar la integración con los sistemas de gestión de seguridad (ISO 45001), gestión ambiental (ISO 14001) y estándares de sostenibilidad empresarial. Esta expansión permitiría desarrollar un marco de gestión holístico que no solo optimice la eficiencia energética y operativa, sino que también fortalezca la seguridad laboral, reduzca el impacto ambiental y mejore el desempeño en sostenibilidad de las organizaciones. Futuros trabajos podrían enfocarse en identificar los puntos de convergencia entre estos sistemas, desarrollar indicadores integrados de desempeño y crear metodologías que faciliten la implementación simultánea de múltiples sistemas de gestión sin incrementar la complejidad administrativa, maximizando así el valor para las organizaciones y sus grupos de interés.

3. Se recomienda explorar la integración de tecnologías de Industria 4.0 y sistemas de análisis de datos avanzados para potenciar la metodología propuesta. La incorporación de elementos como Internet de las Cosas (IoT), análisis en tiempo real, inteligencia artificial y machine learning podría permitir una monitorización más precisa de los indicadores energéticos y una mejor identificación de oportunidades de mejora. Estos sistemas podrían facilitar la toma de decisiones automatizada, la predicción de patrones de consumo energético y la optimización dinámica de procesos, llevando la integración entre Lean Manufacturing y gestión energética a un nuevo nivel de eficiencia. Futuros trabajos podrían centrarse en desarrollar arquitecturas de sistemas inteligentes que apoyen la implementación de la metodología, así como en establecer protocolos de integración de datos que permitan una visualización más efectiva de los resultados y una mejor toma de decisiones basada en evidencia.

9. REFERENCIAS

Adnan, O., & Nazir, M. (2014). Business Process Improvement Methodologies: An Overview . *JOURNAL OF INFORMATION SYSTEMS RESEARCH AND INNOVATION*. https://seminar.utmspace.edu.my/jisri/download/Vol5/Pub6_Business_Process_Improvement_Methodologies.pdf

Annex SL Appendix 2 Harmonized Structure for MSS with Guidance for Use REV 2024 (2024).

Chiarini, A. (2011). Integrating lean thinking into ISO 9001: A first guideline. *International Journal of Lean Six Sigma*, *2*(2), 96–117. https://doi.org/10.1108/20401461111135000

Clari, F., Fadil, E., & Pourcher, L. (2021). 5G and Energy Efficiency. *Global 5G*.

CONUEE. (2014). Manual Para la Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía. *SENER*.

Enerdata. (2021). *Enerdata - Energía y clima mundial - Anuario estadístico*. https://datos.enerdata.net/electricidad/datos-consumo-electricidad-hogar.html

Forbes Álvarez, R. (2014). Estructura de alto nivel de la ISO y su impacto en las normas de sistemas de gestión. *CEGESTI*. www.cegesti.org

González Estrada, T. (2015). PLAN ENERGETICO NACIONAL COLOMBIA: IDEARIO ENERGÉTICO 2050. *UPME*. http://www.upme.gov.co/Docs/PEN/PEN_IdearioEnergetico2050.pdf

Greif, Michel. (1991). *The visual factory : building participation through shared information*. [Routledge, Taylor & Francis Group].

Guil Bozal, M. (2006). *ESCALA MIXTA LIKERT-THURSTONE*.

ICONTEC. (2015). *NTC-ISO 9001: SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD. REQUISITOS* (NTC-ISO 9001). Art. NTC-ISO 9001.

International Monetary Fund. (2022, April). *Informes de Perspectivas de la Economía Mundial*. https://www.imf.org/es/Publications/WEO/Issues/2022/04/19/world-economic-outlook-april-2022#:~:text=Se%20proyecta%20que%20el%20crecimiento,%2C3%25%20a%20mediano%20plazo.

Jan van Eck, N., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*. https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3

Ministerio de Minas y Energía. (2022). *Resolución 40156 DE 2022*. https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PROURE/Resolucion_40156_2022_MME.pdf

MME, M. de M. y E., & UPME, U. de P. M.-E. (2022). Plan de Acción indicativo PROURE (Programa de Uso Racional y Efiiciente de la Energía). *UPME*. https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PROURE/Documento_PROURE_2022-2030_v4.pdf

Ortegón, E., Pacheco, J. F., & Prieto, A. (n.d.). *Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas*. www.cepal.org/es/suscripciones

Pascal, D. (2015). LEAN PRODUCTION SIMPLIFIED A Plain-Language Guide to the World's Most Powerful Production System. *CRC Press Taylor & Francis Group*, *third*. https://nibmehub.com/opac-service/pdf/read/Lean%20Production%20Simplified-%203rd%20edition%20_%20a%20plain%20language%20guide%20to%20the%20world's%20most%20powerful%20production%20system.pdf

Prias, O., Campos, J., Rojas, D., & Palencia, A. (2019). Implementación de un sistema de Gestión de la Energía. Guía con base en la norma ISO 50001. *RED COLOMBIANA DE CONOCIMIENTO EN EFICIENCIA ENERGÉTICA - RECIEE*.

Rajadell, M., & Sanchéz, J. L. (2010). *LEAN MANUFACTURING La evidencia de una necesidad*. Diaz De Santos.

Robles Garrote, P., Del, M., Rojas, C., Garrote, R., & Rojas, P. Y. (2015). La validación por juicio de expertos: dos investigaciones cualitativas en Lingüística aplicada Validation by expert judgements: two cases of qualitative research in Applied Linguistics. *Nebrija Universidad*.

Rojas, O. (2022). La ineficiencia energética le cuesta al país casi tres reformas tributarias. *El Tiempo*. https://www.eltiempo.com/economia/sectores/ineficiencia-energetica-

cuanto-le-cuesta-a-colombia-cada-ano-624297#:~:text=EL%20TIEMPO-,La%20ineficiencia%20energ%C3%A9tica%20le%20cuesta%20al%20pa%C3%ADs%20casi%20tres%20reformas,el%2031%20%25%20de%20la%20final.&text=El%20desperdicio%20representa%20entre%20US,US%24%2011.000%20millones%20cada%20a%C3%B1o.

Salazar, J., Mora, N., & Romero, W. (2020). Diagnóstico de la aplicación del ciclo PHVA según la ISO 9001:2015 en la empresa INCARPALM. *Digital Publisher*, *5*, 459–472.

Sciortino, M., & Watson, S. (2009). The Importance of Energy Efficiency in Lean Manufacturing: Declaring Energy the Ninth Waste. *American Council for an Energy Efficient Economy*, 3–133.

Senderská, K., Václav, Š., & Mareš, A. (2017). Spaghetti diagram application for workers' movement analysis. *U.P.B. Sci. Bull*, *79*. https://doi.org/ISSN1454-2358

Souza, J. P. E., & Alves, J. M. (2018). Lean-integrated management system: A model for sustainability improvement. *Journal of Cleaner Production*, *172*, 2667–2682. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.11.144

Suarez R., C. (2020). Resúmenes Estructurados: ejemplos comparativos. *Revista Ingeniería*, 1–21.

Tabernero Polo, A. P. (2019). *Pérez Angel, T. P. (2019). Estudio de los análisis del entorno en el modelo de emprendimiento disciplinado. Universidad Polit´ecnica de Madrid* [Pérez Angel, T. P. (2019). Estudio de los análisis del entorno en el modelo de emprendimiento disciplinado. Universidad Polit´ecnica de Madrid]. https://oa.upm.es/54122/1/TFG_ANGEL_PEREZ_TABERNERO_POLO.pdf

Teichert, T., & Shehu, E. (2010). BuR-Business Research Official Open Access Journal of VHB Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e. *BuR - Business Research*.

Telefónica. (2022, February 23). *La innovación tecnológica es la llave para mejorar la eficiencia energética de las empresas*. Https://Www.Telefonica.Com/Es/Sala-Comunicacion/Blog/La-Innovacion-Tecnologica-Es-La-Llave-Para-Mejorar-La-

Eficiencia-Energetica-de-Las-Empresas/. https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/blog/la-innovacion-tecnologica-es-la-llave-para-mejorar-la-eficiencia-energetica-de-las-empresas/

Torres, J. E. (2019). Metodología integrada de un sistema de gestión de energía para edificaciones. *Repositorio Institucional -Universidad Nacional*.

UNE. (2018). ISO-50001_2018-1. *UNE-EN*.

UPME. (2022). *Proyecciones de demanda*. https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia

Viloria, B. (2015). Fundamentos de la Estructura de Alto Nivel El Nuevo Enfoque de los Sistemas de Gestión ISO. *Beatriz Viloria - Gestión Sostenible - Auditoría Eficaz*.

Womack, J. P., & Jones, D. T. (2008). Lean Thinking—Banish Waste and Create Wealth in your Corporation. *Journal of the Operational Research Society*. https://doi.org/10.1038/SJ.JORS.2600967

XM. (2022). *Demanda de energía en 2021 marca máximos históricos | Portal XM*. https://www.xm.com.co/noticias/4590-demanda-de-energia-en-2021-marca-maximos-historicos