

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



**MODELO PARA LA EFICIENCIA ELÉCTRICA BASADO EN
MEJORA CONTINUA EN UNA PYME TEXTIL EN TIJUANA,
BAJA CALIFORNIA**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS**

**PRESENTA:
ROBERTO HUGO CASTRO DÍAZ**

**DIRECTOR:
DR. PAUL ADOLFO TABOADA GONZÁLEZ**

**CODIRECTOR:
DRA. QUETZALLI AGUILAR VIRGEN**

TIJUANA, BAJA CALIFORNIA

DICIEMBRE DE 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA

Folio No.351
Tijuana, B.C., a 09 de noviembre, 2023

C. ROBERTO HUGO CASTRO DÍAZ
Pasante de: Maestría en Ciencias
Presente

El tema de trabajo y/o tesis para su examen profesional, en la
Opción TESIS.

Es propuesto, por los C. Dr. Paul Adolfo Taboada González y
Dra. Quetzalli Aguilar Virgen.

Quienes serán los responsables de la calidad del trabajo que usted presente, referido al tema "MODELO PARA LA EFICIENCIA ELÉCTRICA BASADO EN MEJORA CONTINUA EN UNA PYME TEXTIL EN TIJUANA, BAJA CALIFORNIA".

El cual deberá usted desarrollar, de acuerdo con el siguiente orden:

- I. ANTECEDENTES
- II. MARCO TEÓRICO
- III. METODOLOGÍA
- IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN
- V. CONCLUSIÓN
- VI. REFERENCIAS

M.C. Roberto Alejandro Reyes Martínez
Director

Dra. Ana Alejandra Ramírez Rodríguez
Subdirectora

Dr. Paul Adolfo Taboada González
Director De Tesis



Dra. Quetzalli Aguilar Virgen
Co-Directora De Tesis

RESUMEN	4
ABSTRACT	5
1. ANTECEDENTES	6
1.1. Antecedentes	6
1.2. Planteamiento del problema	10
1.3. Pregunta de investigación:	11
1.4. Objetivos de investigación	11
1.4.1. Objetivo general	11
1.4.2. Objetivos específicos.....	11
1.5. Hipótesis	11
1.6. Justificación	12
1.7. Delimitaciones	15
2. MARCO TEÓRICO	16
2.1. Generación de energía eléctrica en México	16
2.2. Eficiencia energética	17
2.3. Gestión energética	20
2.4. Herramientas de mejora continua y eficiencia energética	25
2.4.1. Value Stream Mapping, VSM.....	26
2.4.2. Ocho disciplinas (8D).....	27
2.4.3. KPIs o Indicadores clave de desempeño.....	28
2.4.4. Diagrama de Pareto.	29
2.5. Herramientas para la gestión de la información	30
2.5.1. Hojas de cálculo.	30
2.5.2. Planillas de inspección.....	31
2.6. Modelos para la gestión de energía	32
3. METODOLOGÍA	34
3.1. Determinación de herramientas de mejora continua	34
3.2. Desarrollo del esquema de modelo	35
3.3. Validación del esquema de modelo	40
3.3.1. Sensibilización de directivos	40
3.3.2. Inventario de habilidades.....	40
3.3.3. Capacitación en el uso de herramientas de mejora continua	41
3.3.4. Elaboración de registros.....	42
3.3.5. Habilitación de equipos de medición	42
3.3.6. Mediciones iniciales en tableros de distribución.....	43

3.3.7.	Designación del proceso a evaluar.....	44
3.3.8.	Inventario de equipos.	45
3.3.9.	Información sobre consumo energético	47
3.3.10.	Medición de consumo de equipos	47
3.3.11.	Análisis del consumo eléctrico y del proceso.....	48
3.3.12.	Propuesta e implementación de acciones correctivas	48
3.3.13.	Comparativa de los resultados.....	49
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
4.1.	Determinación de herramientas de mejora continua.....	50
4.2.	Validación del modelo.....	50
4.2.1.	Sensibilización de directivos.....	50
4.2.2.	Inventario de habilidades.....	51
4.2.3.	Capacitación en el uso de herramientas de mejora continua	52
4.2.4.	Elaboración de registros.....	52
4.2.5.	Habilitación de equipos de medición.....	52
4.2.6.	Mediciones iniciales en tablero de distribución.	53
4.2.7.	Designación del proceso a evaluar.....	54
4.2.8.	Inventario de equipos.	58
4.2.9.	Información sobre consumo energético	60
4.2.10.	Medición de consumo de los equipos	61
4.2.11.	Análisis del consumo eléctrico y del proceso.....	62
4.2.12.	Propuestas e implementación de acciones correctivas	65
4.2.13.	Comparativa de los resultados.....	67
5.	CONCLUSIONES.....	69
	REFERENCIAS	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Proporciones de energéticos.....	6
Figura 2	Consumo energético por sector (a) y por tipo de combustible (b).....	7
Figura 3	Generación neta de electricidad (a) y consumo de energía eléctrica por sector (b).....	8
Figura 4	Consumo de energía eléctrica en Baja California.	9
Figura 5	Value Stream Mapping.....	27
Figura 6.	Diagrama de Pareto.....	29
Figura 7.	Ejemplo de la lista de verificación.....	31
Figura 8.	Modelo de E-lean pyme	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Lista de verificación de condiciones del equipo de medición.	43
Tabla 2.	Plantilla de recolección.....	46
Tabla 3	Lista de verificación en campo.....	53
Tabla 4.	Equipo o maquinaria del proceso designado para evaluación.	55
Tabla 5.	Inventario de equipo con capacidades nominales.	59

El incremento en los costos de los energéticos, la degradación ambiental y mayores regulaciones gubernamentales obligan a las empresas a ser más efectivas en el uso de recursos, como la electricidad. Existen modelos de gestión de energía para implementar medidas de control en el consumo eléctrico pero su implementación en pequeñas o medianas empresas (PyMEs) se dificulta por la falta de recursos o habilidades necesarios para la implementación. Por lo expuesto, el presente estudio tuvo como objetivo desarrollar un modelo de gestión energética de fácil implementación con base en herramientas de mejora continua para lograr una adecuada gestión eléctrica en una PyME textil. Se revisaron modelos de gestión y se tomaron las mejores prácticas de las metodologías para desarrollar un nuevo modelo llamado “E-lean pyme”. El modelo se implementó y, por las características de la organización, no todas las herramientas de mejora continua pudieron ser implementadas. Fue necesaria la capacitación en las herramientas de mejora continua. La información sobre consumos de los equipos con mayor demanda fue limitada. Las acciones correctivas propuestas consideraron la infraestructura y equipos de servicio que la organización utiliza en su día a día. La falta de documentación e información veraz representa un gran riesgo y área de oportunidad para tener la certeza de la efectividad del modelo para la gestión de la energía eléctrica.

Rising energy costs, environmental degradation, and increased government regulations force companies to use resources, such as electricity, more effectively. There are energy management models to implement control measures in electrical consumption. Still, their implementation in small or medium-sized companies (SMEs) is complex due to the need for more necessary resources or skills. Therefore, this study aimed to develop an easily implemented energy management model based on continuous improvement tools to achieve adequate electrical management in a textile SME. Management models were reviewed, and the best practices of the methodologies were taken to develop a new model called "E-lean SME." The model was implemented, and not all continuous improvement tools could be implemented due to the organization's characteristics. Training in continuous improvement tools was necessary. Information on consumption of the equipment with the highest demand was limited. The proposed corrective actions considered the infrastructure and service equipment the organization uses daily. The lack of documentation and accurate information represents a significant risk and an opportunity to be sure of the model's effectiveness in managing electrical energy.

1.1. Antecedentes

La Agencia Internacional de la Energía (AIE) estima un crecimiento del 1.5% a nivel mundial en relación con el consumo energético si las políticas y prácticas de consumo no se ven modificadas en los países desarrollados y en vías de desarrollo en el periodo de 2007 y 2030[1]. Por su parte, Balcells [2] prevé un 40% de crecimiento en este mismo lapso.

El incremento de la demanda energética no conlleva una correlación con el uso de las energías alternativas. Al contrario, demanda un mayor consumo de combustibles fósiles para la generación de energía. Las proporciones actuales en cuanto a fuentes de energía nos facilita observar esta tendencia (ver Figura 1). [2]

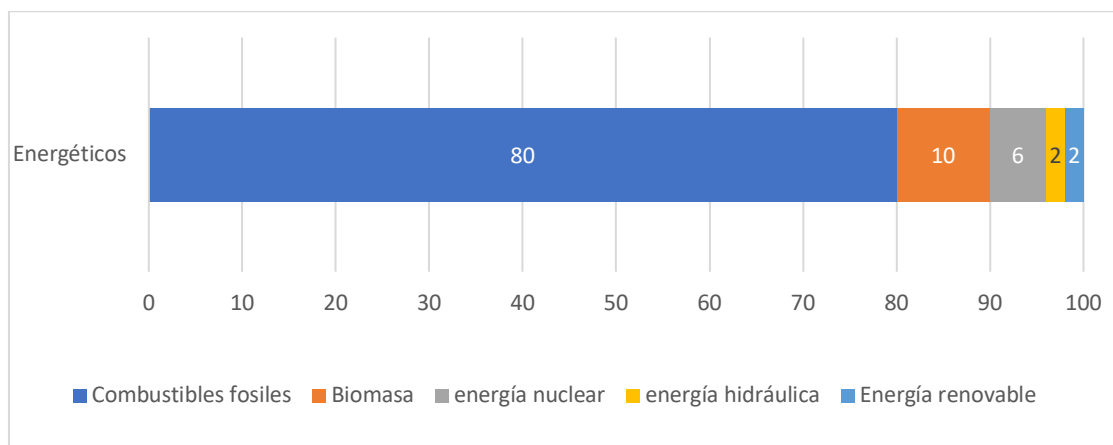
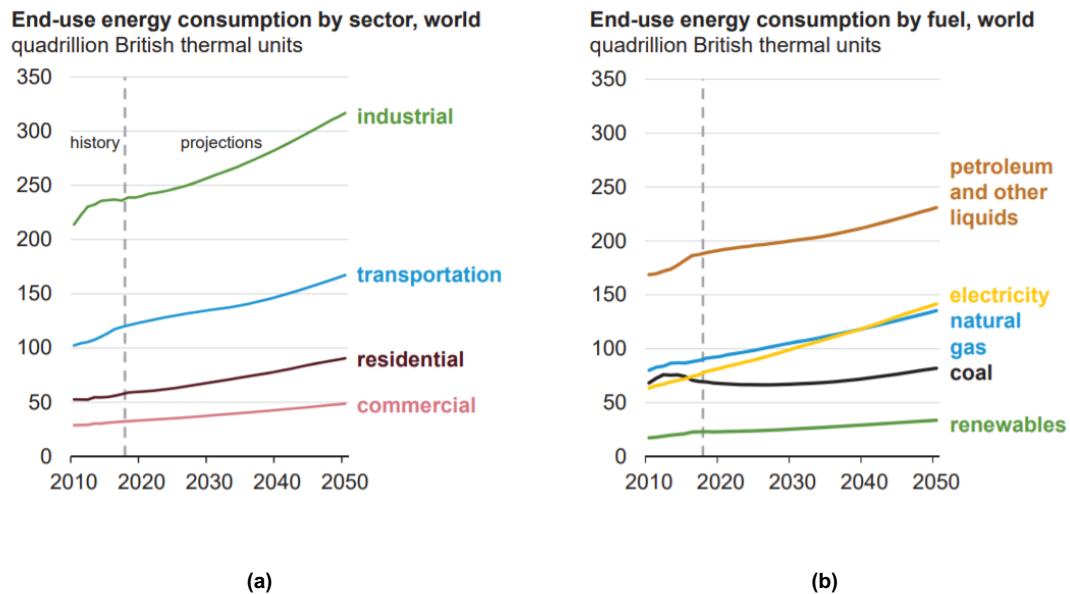


Figura 1. Proporciones de energéticos
Fuente: Adaptado de Balcells [2]

El sector industrial es el principal consumidor de energía a nivel mundial, dentro de las actividades incluidas en este sector se encuentra la refinación, minería, manufactura, agricultura y construcción. En el 2019 tuvo un consumo de energía que rondaba los 250×10^{24} BTU, seguido por el sector del transporte, el residencial y comercial. Los gráficos (a) y (b) en la Figura 2 nos permiten ver de mejor manera el consumo de energía hasta el 2019 y las estimaciones que se tienen para el 2050[3].

La participación de la industria en el consumo mundial de energía se redujo a un 40% en 2018 y se espera que para el 2050 sea del 35%, esto en gran parte debido al rápido crecimiento del sector transporte. Es importante recalcar que México es el país con el mayor crecimiento en consumo energético de los países de la OCDE con un 2.2% anual [4]. De igual manera, de analizar las fuentes de energía por combustible nos encontramos que aún sigue predominando el petróleo y sus derivados, seguido por el gas natural y en tercera posición encontramos a la energía eléctrica.



**Figura 2 Consumo energético por sector (a) y por tipo de combustible (b).
Fuente: International Energy Outlook 2019 [3].**



El sector que consume la mayor cantidad de electricidad es el industrial, seguido del residencial, comercial y por último el del transporte que se caracteriza por el uso de combustibles fósiles para su movimiento. Mientras que los países que no pertenecen a la OECD son los principales generadores de electricidad. (Ver figura 3).

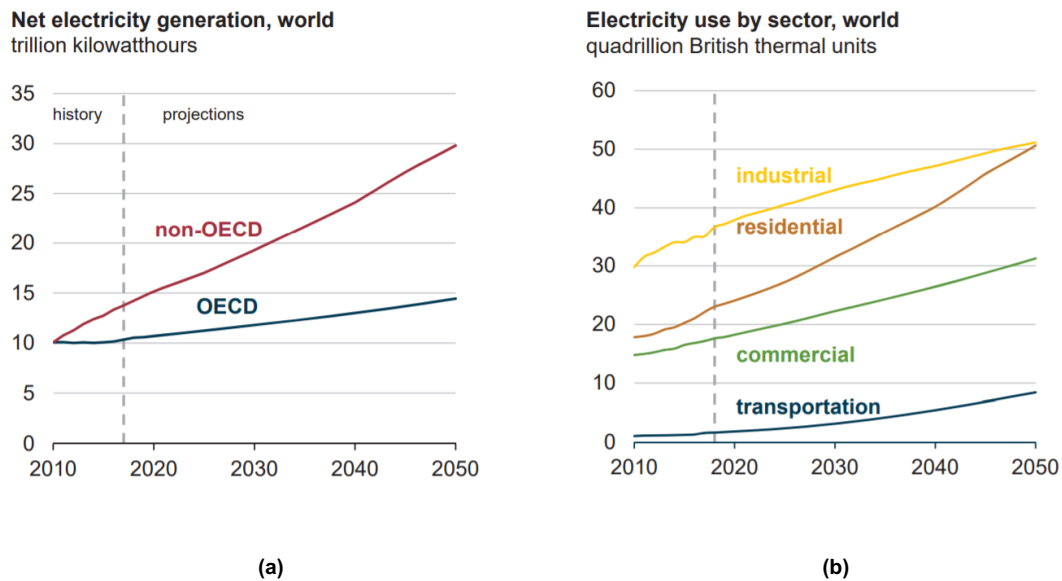


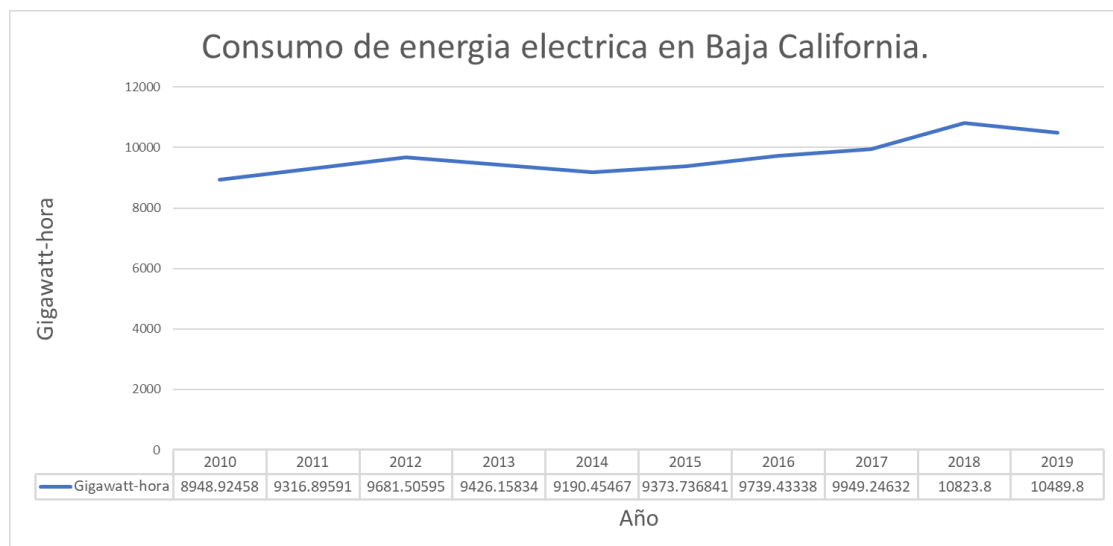
Figura 3 Generación neta de electricidad (a) y consumo de energía eléctrica por sector (b)

Fuente: International Energy Outlook 2019 [3].

Al momento de seleccionar las actividades que demandan un mayor consumo de energía nos encontramos que a nivel mundial el sector industrial se consolida como uno de los principales factores con un consumo promedio del 30% [5]. Así mismo, la industria ha representado cerca de un tercio del consumo energético final en los últimos 20 años [6]. En México el sector industrial es el segundo mayor consumidor de energía de acuerdo con cifras del SENER. El principal consumidor es el transporte con un 46.5% del consumo energético del país, mientras que el sector industrial demanda el 31.8%. En ambos casos la principal fuente de energía sigue siendo los derivados de los combustibles fósiles como el petróleo [6].



Baja California participa en la generación de energía eléctrica y todas las actividades de distribución de electricidad se encuentran bajo las facultades de CFE [7]. Las cifras mostradas en el portal de sistema de información energética (SIE) de la Secretaría de Energía indican un consumo de 10,489.8 giga watts-hora reales en 2019 de acuerdo con la última consulta hecha el día 17 de abril de 2021 [8]. En la figura 4 se observa el aumento gradual del consumo de energía eléctrica en el estado de Baja California de 2010 al 2019, donde se observa un aumento del 17.21 % con respecto al año 2010 con el 2019. En 2018 se tuvo el consumo más elevado con 10,823.8 GW/h. La información mostrada por el portal del sistema de información energética para el año 2020 muestra una disminución de alrededor del 60% en el consumo de energía eléctrica para el estado, por este motivo no forma parte del historial.



**Figura 4 Consumo de energía eléctrica en Baja California.
Fuente: Adaptación del sistema de información energética[8].**

La cercanía con Estados Unidos, principal mercado del mundo, y la abundante oferta de fuerza de trabajo son factores que explican el emplazamiento de empresas transnacionales en la industria maquiladora de Tijuana [9]. En Tijuana-Rosarito se estima que en el año de 1998 existían aproximadamente 2,205 establecimientos industriales manufactureros, la mayoría



correspondía a la micro y pequeña industria y sólo alrededor del 12% correspondía a la industria mediana y grande. No obstante, los últimos datos del directorio estadístico nacional de Unidades económicas del INEGI muestran un crecimiento del 80% con los últimos datos disponibles, dando como resultado 3980 establecimientos industriales manufactureros en sus distintas categorías a la última consulta hecha el 08 de abril de 2021 [10].

El nivel de actividad económica puede medirse, entre otras formas, a través del consumo energético. En el Estado de Baja California, Mexicali incrementó su consumo de 40% a 49% por el efecto de su clima semidesértico; la región de Tijuana actualmente consume el 33.5%, Rosarito 0.8%, Tecate 1.1% y Ensenada el 8.1%. La Zona Valle representa el 56.5% del consumo. El consumo total de energía en Tijuana en el año 2013 alcanzó poco más de 3.39 millones de MWh que representó un 37 por ciento respecto al consumo del estado, lo que sitúa a la ciudad como una de las de mayor consumo de Baja California. En Tijuana se tiene un consumo de 2,028.59 kWh/cápita muy parecido a lo que consume Gaziantep, Turquía (2,691 kWh/cápita) pero comparado con la ciudad de Argel (870 kWh/cápita) es significativamente mayor. De manera similar, la ciudad muestra un consumo de electricidad de 0.1771 kWh/PIB superior a los 0.097 kWh/\$PIB de Barcelona que tiene un mayor PIB [7].

1.2. Planteamiento del problema

En la Ciudad de Tijuana se encuentra una pequeña empresa que se ha dedicado a la fabricación de piezas textiles por más de 25 años. Para mantenerse en el mercado ha ampliado su portafolio de productos y sus. Sin embargo, este desarrollo, en términos energéticos, no se ha desarrollado de forma planificada. La gerencia no cuenta con un programa de eficiencia energética donde las medidas implementadas partan de una metodología o de un análisis integral. Sus acciones, de carácter aisladas y reactivas; se orientan a garantizar la continuidad de las operaciones (funcionamiento de los equipos) y no a reducir el consumo energético con



el fin de reducir el costo de la facturación mensual. Se ha observado que existe una variedad de maquinaria y equipo del cual se desconoce las características reales de consumo, al no contar con documentación por parte del fabricante sobre las especificaciones de los equipos.

1.3. Pregunta de investigación:

¿Se puede desarrollar un modelo de gestión energética de fácil implementación con base en herramientas de mejora continua para lograr una adecuada gestión eléctrica en una PyME (pequeña y mediana empresa) textil?

1.4. Objetivos de investigación

1.4.1. Objetivo general

Desarrollar un modelo para la gestión de energía eléctrica en una PyME textil.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar las herramientas de mejora continua idóneas para el desarrollo del modelo de gestión energética.
- Elaboración del esquema piloto del modelo de gestión basado en herramientas de mejora continua, como propuesta de mejora, con base en la literatura.
- Validación del esquema en una empresa textil.

1.5. Hipótesis

Incluir herramientas de mejora continua en un modelo de gestión de energía eléctrica facilita su implementación en una empresa manufacturera.



1.6. Justificación

La energía es un componente integral de una economía moderna. Se estima que su consumo total en los sectores industriales de los países desarrollados es de alrededor del 30-40% de la energía total demanda [11]. Su uso es esencial en casi todos los bienes y servicios, pero exige una fuerte carga financiera, medioambiental y costos de seguridad. Los requerimientos energéticos por unidad de producto en algunos países, como México, son muy elevados de tal modo que un crecimiento sostenido se vería acompañada por una creciente demanda de energía con consecuencias negativas para el ambiente. En particular, desde el punto de vista ambiental, destaca que la oferta actual de energía en México se basa -en su mayoría- en el uso de recursos no renovables, como el petróleo [12].

La producción a nivel industrial depende tanto de la disponibilidad como de la eficiencia en el uso de recursos energéticos, así como de otros insumos como trabajo y capital. La literatura tiende a centrarse en el papel de estos últimos como determinantes del crecimiento en la producción, considerando al factor energético como un aspecto dado. Sin embargo, en lo que respecta a la producción en México, la participación de la industria eléctrica en cuanto al total de la producción, al producto interno bruto, empleo y remuneración de asalariados no son de gran repercusión. Su relevancia radica como subsector estratégico, al contar con una amplia capacidad de proveer su servicio al resto de la economía implica un alto encadenamiento hacia adelante [13].

Los precios de los energéticos subieron más que los precios en general en los últimos 20 años. Al relacionarlo con la demanda de energía por unidad de capital usado y por persona ocupada remunerada se obtuvo una relación negativa lógica: si la energía se encarece, disminuye su demanda [14]. Este mismo patrón se reproduce en la producción industrial mermando la productividad e inhibiendo el crecimiento económico. Ante esta situación resulta



imprescindible determinar y revisar puntos de consumo energéticos en los procesos productivos para establecer estrategias que favorezcan la utilización adecuada de los recursos energéticos. Se deben de proponer cambios que puedan ser de ayuda para que las empresas a mediano o largo plazo muestren avances en la disminución de costos conllevando a mejoras en la producción y el consumo energético [15].

En un alto número de empresas el uso de la energía se ve como una caja negra, y su uso eficiente rara vez se considera como parte de los ciclos de mejora. Se sabe que el consumo de energía en la operación de una organización es uno de los principales costos indirectos de manufactura que no siempre es atendido con el mismo interés que otros costos con mayor visibilidad en la manufactura de un producto. Muchos de los esfuerzos se canalizan solo al cumplimiento normativo ambiental. En países latinoamericanos y del mundo, se ha logrado éxito en la implementación de programas de eficiencia energética, en diversos rubros de producción, a través de la innovación de los procesos por tecnologías de gestión aplicadas y con aplicación de normativas tales como ISO 50001, así como la generación de escenarios de consumo por medio de indicadores de eficiencia [16].

Un método clave para reducir los costos de energía mientras conserva sus beneficios es usarlo de manera más eficiente. Se ha demostrado que la gestión energética ayuda a las organizaciones a reducir costos e impactos ambientales, sin importar su tamaño. En este sentido, la hipótesis es que, en algunas empresas, aun cuando está garantizada la rentabilidad económica, esta puede ser mejorada si se ejecutan simples acciones tendientes a mejorar la calidad de energía. Sin embargo, y a pesar de que es extremadamente raro que no se logre una reducción de costos al aplicar algún tipo de programa de mejora energética, se comprueba, que la dirección de la organización difícilmente admite esta realidad.



El modelaje, planeación y monitoreo de las actividades conlleva a una gestión eficiente e incentiva a la industria a restringir la huella de uso de energía [17]. Autores [7] han indicado que es imperativo buscar estrategias con el fin de gestionar los recursos energéticos dentro de la optimalidad con los recursos tecnológicos y humanos disponibles. Es por esto, que resulta fundamental el estudiar este caso donde los recursos tecnológicos y de infraestructura pueden verse comprometidos por la longevidad en las operaciones y las interacciones afines. Esto permitirá establecer estrategias y planes orientados al ahorro energético mediante herramientas de mejora continua y proporcionar una guía para otras organizaciones con condiciones de operación similares.

El interés en los consumos energéticos en los sistemas de manufactura ha aumentado considerablemente debido a temas como el deterioro ambiental, una mayor conciencia y participación de la sociedad en el cuidado del medio ambiente ha hecho que las organizaciones volteen a ver la manera en que se aprovecha la energía en las organizaciones y busquen alternativas para un aprovechamiento sustentable.

Una de las alternativas que ha sido abordada por las empresas son las herramientas de manufactura esbelta que se enfocan en la eliminación de desperdicio donde Autores como Wen-Xuanhao, et al.[18] y Baysan-Serdar, et al. [19] refieren que el uso de herramientas de manufactura esbelta o metodologías desarrolladas a partir de dichas herramientas pueden integrarse adecuadamente en los sistemas productivos de la empresas para incrementar la eficiencia energética de las organizaciones manteniendo la competitividad y reduciendo los costos de manufactura en complejos industriales dedicados a la fundición de metales y distribución de energía en China y Turquía. De acuerdo con Menghi-Roberto, et al.[20] de un total de 66 investigaciones científicas únicamente 9 consideran herramientas de manufactura esbelta, solo 8 identifican las acciones correctivas pertinentes y 6 miden los ahorros generados.



1.7. Delimitaciones

Esta investigación se realizará en una empresa textil que se dedica al bordado, serigrafía, tampografía, impresión digital en papel textil, así como sublimado en textil, cerámica y metal. Cuenta con 25 trabajadores por lo que está catalogada como pequeña empresa de acuerdo con la Secretaría de Economía. De acuerdo con registros, tiene un consumo de 84,684 KW anuales. El área de estudio será el proceso de fabricación de piezas textiles por contar con los equipos de mayor demanda de energía eléctrica [21].

2.1. Generación de energía eléctrica en México

La generación de electricidad a partir de combustibles fósiles ha sido el proceso de generación más importante del siglo XXI y se anticipa que seguirá siendo dominante durante la mayor parte del siglo XXI [22]. La electricidad se crea en centrales capaces de obtener energía eléctrica a partir de energías primarias. Las energías renovables son el viento, la radiación solar, las mareas y las no renovables son el carbón, gas natural, el petróleo o derivados de combustibles fósiles.

La capacidad eléctrica en México en el año 2011 se integró mediante una diversificación de fuentes de generación, siendo las centrales termoeléctricas las que tienen una mayor participación con 45.1%; las hidroeléctricas un 21.9%; las carboeléctricas un 5.1%; la única central nucleoelectrica 2.7%; dos fuentes más con recursos renovables, las geotermoeléctricas, con un 1.7%, y las eoloeléctricas con 0.20% de la potencia total de país[23]. La generación en 2011 estaba compuesta de la siguiente forma: las centrales termoeléctricas, con una mayor participación, 43.77%, mediante el uso de hidrocarburos (diésel, combustóleo, etcétera); las hidroeléctricas, con un 12.84% (6.23% mediante el uso del carbón, 3.58% a través de nucleoelectrica); las geotermoeléctricas, con un 2.30%, y las eoloeléctricas con sólo un 0.04% de la generación eléctrica nacional.



2.2. Eficiencia energética

La energía es la capacidad de un sistema para producir actividad externa o realizar trabajo y en un contexto general puede ser eléctrica, combustible, vapor, calor, aire comprimido u otros medios. No obstante, la fuente de energía, tales como el aire comprimido, vapor y calor, pueden no ser consideradas como tal debido a que suelen ser generadas por las mismas organizaciones, sin embargo, es posible hacer gestión de la energía sobre estas fuentes de energía secundaria porque puede dejar capacidad para reemplazar otro tipo de consumo energético [24].

La historia de la humanidad consiste en la historia de fuentes de energía y de sus formas de aprovechamiento con el fin de satisfacer las necesidades del presente y plantear las del porvenir. Por lo tanto, no es de extrañarse que en el transcurso de la humanidad se hayan creado distintos modelos energéticos donde se han incorporado distintos tipos de energía primarias o secundarias con el fin de cumplir con las necesidades de dichas épocas, de esta manera se de origen a modelos básicos como el agrícola hasta llegar a convertirse en modelos energéticos industriales bastante avanzados[25]. A pesar de que cada modelo tiene sus características y objetivos específicos orientados a la satisfacción de las necesidades de cada era, todos comparten un hecho en común, están condicionados por sus fuentes de energía y su aprovechamiento, y al pasar de un modelo a otro se registra un incremento del consumo de energía per cápita y de su consumo global, demandando cada vez un mayor suministro de energía y de fuentes de energía[26].

La búsqueda de eficiencias más elevadas de conversión está últimamente limitada por consideraciones termodinámicas y por el mínimo estequiométrico. Incluso después de generaciones de innovación técnica existen muchas oportunidades para las ganancias de eficiencia del orden del 30-60% que pudieran tener lugar en los próximos 20-25 años y los



ahorros potenciales del 10-25% son muy comunes. Los modos de llevar a cabo estos ahorros han sido descritos y evaluados en numerosos artículos. No es difícil quedar impresionado por el alcance de estos ahorros potenciales, también resulta imperativo darse cuenta de que siempre existe una holgura sustancial entre los potenciales técnicos y las mejoras prácticas posibles y los procesos perfectamente optimizados van por un lado y el rendimiento cotidiano por otro[27].

Es en este punto, donde la gestión adecuada de las energías toma relevancia y conceptos como el de eficiencia energética se presentan, planteando acciones que se toman tanto en el lado de la oferta como de la demanda, sin sacrificar el bienestar ni la producción, permitiendo mejorar la seguridad del suministro. Logrando, además, ahorros tanto en el consumo de energía como en la economía de la población en general. Simultáneamente se logran reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero y mejoras en las finanzas de las empresas energéticas[28]. El ahorro y la eficiencia energética constituyen un elemento fundamental para la mejora del medio ambiente, en especial en lo que se refiere al calentamiento global[29].

El análisis del caso de los países europeos, evidencia que la eficiencia debe ser catalogada como el más importante recurso que se dispone para asegurar el abastecimiento energético de un país, debido a los importantes beneficios obtenidos por la reducción sostenida del 0.9% anual de la intensidad energética desde 1990. En América Latina y el Caribe, la reducción de la intensidad energética desde 1990 fue solo del 0.2% anual. Lo anterior ocurre, por un lado, porque son pocos los países que mantienen programas de eficiencia de largo plazo, y por el otro, por la baja incorporación de tecnologías eficientes por modernización de electrodomésticos y vehículos[28].



Como parte del desarrollo sostenible se tiene como objetivo internacional de aquí a 2030, garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos. Se busca aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la energía limpia, incluidas las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias. El objetivo número 7 establece que se debe garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos liderado a nivel internacional por el secretario general de las Naciones Unidas. De acuerdo con el ex Secretario General de las Naciones Unidas, BAN KI-Moon, hay 5 indicadores divididos en indicadores de marco global e indicadores específicos para México [30]. En los indicadores específicos para México podemos encontrar: a) el porcentaje de participación de las energías limpias en la matriz de generación de energía eléctrica; y b) Intensidad energética nacional.

La eficiencia energética tiene como objetivo la reducción del consumo de energía, mediante el incremento de la productividad energética. Uno de los fines de la eficiencia energética tiene que ver con la protección al medio ambiente, ajustando también los patrones de consumo energético por usuario. La eficiencia energética es un tema crucial en cuanto a su relación con el cambio climático. Por este motivo, el control de la intensidad energética nacional juega un papel fundamental, actualmente la intensidad energética nacional muestra un decremento positivo de 513,930 kJ por peso de PIB producido a 476,017 kJ por peso de PIB producido en el periodo 2016-2019 [31]. Los valores para el periodo 2020-2021 aún no están disponibles, pero es posible que se vean afectados de manera negativa por la pandemia de COVID-19 [32].

Las organizaciones han centrado su mira en el ODS 7 que puede indicar que las iniciativas de cambio climático llevadas a cabo por las empresas van en línea con la transición a energías renovables y limpias que muchas veces tienen un costo menor que las energías



tradicionales generadas por los combustibles fósiles. Algo a destacar también la importancia de la innovación por parte de las empresas, que figuran como punta de lanza en los avances tecnológicos, el cual podría ser un indicador del avance hacia una gestión más responsable del negocio a través de la innovación en productos y servicios. Algunas de las iniciativas que están llevando a cabo las empresas para la consecución del ODS 7 van en línea con la eficiencia energética y la colaboración para el avance hacia energías más limpias.

México en 2008 asumió el objetivo de promover las energías renovables y reducir la dependencia a los combustibles fósiles. Como parte del compromiso se aprobaron la Ley sobre el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE), así como de la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (LASE) [33]. Aunque dichas leyes promueven la reducción de emisiones de GEI y el incremento de las energías renovables, el consumo de hidrocarburos sigue en aumento. En México, el sector energético sigue privilegiando el uso de combustibles fósiles, a pesar de las implicaciones ambientales y conflictos socio ambientales que lo anterior pudiera llegar a presentar.

A raíz del cambio climático y la industrialización acelerada, propuestas presentadas en la Agenda 21 piden que la industria aumente la eficiencia de sus operaciones. Esto incluye eficiencia energética, tecnologías y procesos de producción más limpios, mejora de tecnologías para reducción de la contaminación, reemplazo de clorofluorocarbonados y otras sustancias que agotan el ozono con sucedáneos convenientes, disminución de los desperdicios e inclusión en sus cálculos el factor de los costos de la contaminación y los desperdicios como parte integrante del costo total de sus productos[34].

2.3. Gestión energética

Debido a la relevancia que ha tomado los temas energéticos en la actualidad, se han ido formulando nuevas metodologías para la gestión energética a nivel mundial, resaltando entre



ellas el sistema de gestión de la energía, también conocida como ISO 50001 que tiene como objetivo facilitar a las organizaciones establecer los sistemas y procesos necesarios para mejorar su desempeño energético, incluyendo la eficiencia energética y el uso y el consumo de la energía [35]. La implementación de esta Norma Internacional está destinada a conducir a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y de otros impactos ambientales relacionados, así como de los costos de la energía a través de una gestión sistemática de la energía.

ISO 50001 es un estándar internacional que identifica los requisitos para un sistema de gestión energético proporcionando una guía para la implementación. Para la implementación de ISO 50001 se aplica la metodología PHVA, la cual consiste en planear, hacer, verificar y actuar que puede ser aplicada de la siguiente manera [36]:

- Planear: establecer objetivos y los procesos necesarios para obtener resultados acordes con la política energética de la organización.
- Hacer: implementar los procesos.
- Verificar: monitorear y medir los procesos con respecto a la política energética, objetivos, y metas, requerimientos legales y otros requerimientos adoptados por la organización; reporte de resultados.
- Actuar: realizar acciones para mejorar continuamente el rendimiento del sistema de gestión energético de la organización.

Existen metodologías desarrolladas por expertos, las cuales toman en cuenta las características del suministro energético en cada nación, como el modelo de gestión integral de la energía en Colombia. Este se desarrolló al considerar las experiencias de gestión energética nacionales e internacionales en los últimos quince años y el estado de desarrollo del sector productivo colombiano [37]. El Modelo de Gestión integral de la Energía es un sistema de



gestión integrado por el conjunto de factores estructurados mediante normas, procedimientos y actuaciones que permite la materialización de políticas, los objetivos y las metas de eficiencia energética a través de una participación de los trabajadores en relación con la tecnología y los procesos. La principal fortaleza de este sistema es que puede ser aplicado a cualquier organización sin importar el nivel de desarrollo en el gestión energética en que este se encuentre, y permite mediante un proceso de mejora continua de los hábitos, tecnologías, procedimientos alcanzar tanto el mínimo consumo energético como el mínimo costo de energía posible con el objetivo que la empresa alcance una cultura energética ambiental que se verifique en el incremento de la productividad o la competitividad y la reducción del impacto ambiental en una visión de desarrollo energético sostenible. El sistema se compone de tres etapas consecutivas: La decisión estratégica, Instalación y Operación. Estas tres etapas conllevan 21 actividades las cuales el sistema contempla que sean implementadas en 13 meses. Destaca la asignación de recursos, la creación de una estructura organizativa, las bases técnicas, la creación de programas, así como su documentación y la verificación del cumplimiento a través de auditorías internas al sistema de gestión energético de la empresa, finalizando una fase de análisis de los resultados basada en el ciclo de la mejora continua para realizar ajustes y verificar la efectividad del sistema.

El Gobierno de Canadá, en cooperación con Energy Star, proponen una guía para la administración energética en las industrias con el fin de crear un programa de gestión energética enfocado en la mejora continua del desempeño energético [38]. El proceso se basa en el compromiso que hacen las organizaciones cuando se conviertan en una asociación industrial canadiense para Líder de Conservación de Energía (CIPEC). Estas pautas para la gestión de la energía pueden ayudar a una organización a mejorar su desempeño energético y financiero mientras distingue a las organizaciones como líderes ambientales [39]. La guía se basa en el ciclo de la mejora continua (PHVA) para mejorar la eficiencia energética de las



organizaciones y utiliza como herramienta de soporte el benchmarking y las auditorías. La guía contempla siete pasos para alcanzar los objetivos:

- Paso 1: Hacer un compromiso.
- Paso 2: Evaluar el desempeño.
- Paso 3: Establecer objetivos.
- Paso 4: Crear un plan de acción.
- Paso 5: Implementar un plan de acción.
- Paso 6: Evaluar el progreso.
- Paso 7: Reconocer los logros.

En México, en los años 80's se dan los primeros esfuerzos para promover el ahorro de energía por parte de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), con la creación del Programa Nacional para el Uso Racional de la Energía Eléctrica (PRONUREE). Este programa tenía como propósito difundir información en torno al ahorro de energía y a las alternativas energéticas para diferentes usuarios. Sin embargo, este programa se limitó a campañas escolares y domésticas, así como a seminarios y conferencias, sin resultados concretos [40]. Actualmente existe la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) que se encarga de establecer programas y acciones que permitan propiciar el aprovechamiento sustentable de la energía mediante el uso óptimo de la misma en todos sus procesos y actividades, desde su explotación hasta el consumo final [41]. Por tal motivo, la CONUEE tiene como propósito establecer los métodos y procesos necesarios para mejorar el desempeño energético, incluyendo la eficiencia, uso y consumo [42].

En 2014 la CONUEE lanzó el Programa Nacional para Sistemas de Gestión de la Energía (PRONASGEn), que tiene como objetivo apoyar a todas las empresas en el desarrollo de sus capacidades para elevar su competitividad a través del uso sustentable de la energía. Se



estableció la necesidad de especificar los requisitos del SGE_n, desarrollar e implementar una política energética, establecer los objetivos, metas y planes de acción obligatorios y tener en cuenta los requisitos legales, así como la información relacionada con el consumo de energía. Para poder lograr este propósito, se publicó un Manual para la Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía. La base del Sistema de Gestión de la Energía propuesto por la CONUEE tiene como base el ciclo de la mejora continua (PHVA) y consta de 8 etapas para su implementación.

- Etapa 0: Identificar el escenario inicial.
- Etapa 1: Establecer el compromiso con el Sistema de Gestión de la Energía.
- Etapa 2: Evaluar el desempeño energético.
- Etapa 3: Establecer objetivos y metas.
- Etapa 4: Crear planes de acción.
- Etapa 5: Poner en práctica los planes de acción.
- Etapa 6: Evaluar el progreso.
- Etapa 7: Asegurar la mejora continua.

Para la consecución de las etapas mencionadas, en el Sistema de Gestión de la Energía se describen 29 actividades a lo largo de las ocho etapas para la implementación exitosa del sistema [43]. Este documento se encuentra dividido en cuatro capítulos, los cuales reúnen las etapas del ciclo de mejora continua, con base en los requisitos de la Norma Mexicana NMX-J-SAA-50001-ANCE-IMNC-2011, equivalente a la Norma Internacional ISO 50001: 2011 y la visión de la nueva estructura de los sistemas de gestión High Level Structure (HLS, por sus siglas en inglés.)



2.4. Herramientas de mejora continua y eficiencia energética.

Alrededor de los años 50's, personal de Toyota concluyó que las ineficiencias de los procesos de producción tenían su origen en lo que llamaron "los siete desperdicios mortales de la manufactura". Éstos son de carácter general y existen prácticamente en cualquier empresa, sea de manufactura o de servicios:

- 1) Sobreproducción: Producción de artículos antes de que el consumidor los demande.
- 2) Espera: tiempo de demora, retrasos en máquinas, materias primas, herramientas.
- 3) Transporte: Movimientos innecesarios del producto.
- 4) Sobre procesamiento: procesos innecesarios.
- 5) Inventario: Exceso de material o información.
- 6) Movimiento: Toda aquella acción innecesaria.
- 7) Defectos: La producción de partes o servicios fuera de especificación.

A diferencia de los desperdicios, las actividades que agregan valor en las operaciones, son todas aquellas por las cuales el cliente está dispuesto a pagar o que transforman al producto. La práctica indica que, del total de actividades en una empresa, solo el 5% de las actividades agregan valor, el otro 95% está constituido por actividades que no agregan valor, lo que en el lenguaje de Manufactura esbelta (Lean Manufacturing) son desperdicios [44].

Para eliminar estos desperdicios desarrollaron un conjunto de métodos y herramientas que son conocido ahora como herramientas de manufactura esbelta. Cada una de estas herramientas tienen sus propios pasos, técnicas y aplicación, sin embargo, todas tienen el mismo enfoque, la eliminación de algún tipo de desperdicio.

En la actualidad existen numerosas herramientas, técnicas y sistemas para mejorar los procesos. Así, para la mejora continua podemos encontrar herramientas como 3M, 5W, 5S,



mapas de flujo de valor, diagramas de Ishikawa, diagramas de Pareto y metodologías como PHVA, DMAIC y Kaizen. Sin embargo, conocer la diferencia entre ellas y saber cual elegir puede resultar difícil. En los siguientes apartados se ofrece una descripción general de las herramientas de mejora continua que han sido empleadas en procesos para gestión de la energía.

2.4.1. Value Stream Mapping, VSM

En la fase de análisis una de las herramientas de manufactura esbelta más destacada es el mapa de flujo de valor (value stream mapping, VSM) cómo lo refiere Wen-Xuanhao, et al. [18]. Esto por su facilidad para plasmar los puntos potenciales de ahorro de manera visual, para posteriormente generar indicadores de desempeño que sirvan de guía para la consecución de los resultados. El VSM es una herramienta de manufactura esbelta que se puede emplear en cualquier proceso para identificar las actividades con valor agregado y sin valor agregado y reducir el desperdicio (ver Figura 5). Se fundamenta en la aplicación secuenciada de las siguientes etapas:

- Elección de la familia de productos o proceso
- Mapeo del estado actual referente al consumo de energía y de su información asociada
- Mapeo de la situación futura sobre la base de pautas aportadas por la manufactura esbelta
- Definición e implementación de un plan de trabajo

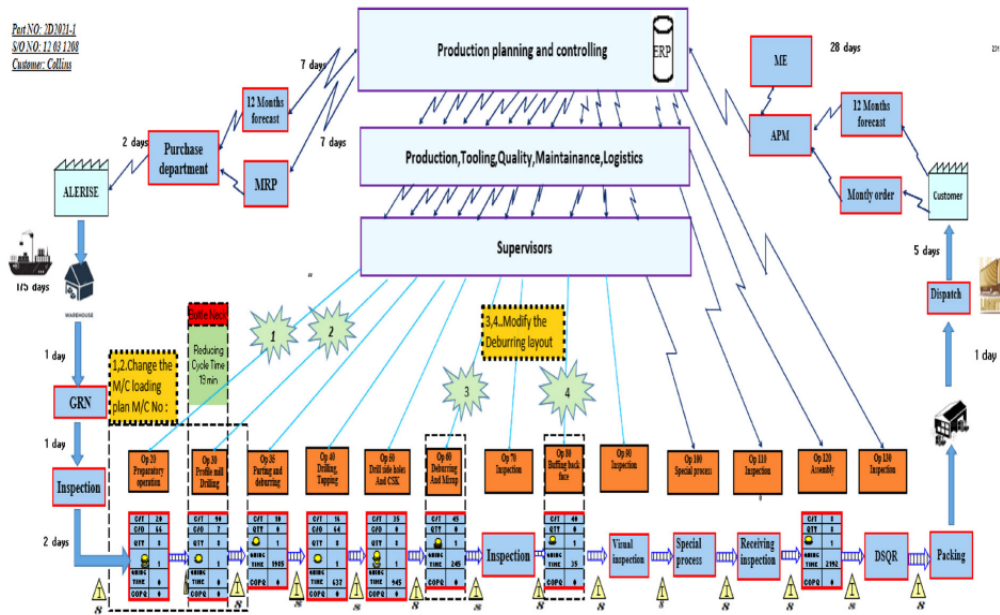


Figura 5 Value Stream Mapping
Fuente: Kundgou et al. [45]

Aplicado a eficiencia energética, Baysan-Serdar, et al. [19] hace uso del mapa de flujo de valor como herramienta principal para plasmar la situación actual y futura, pero aborda las limitaciones que tiene el mapa de flujo de valor para desplegar las variaciones inesperadas en los consumos energéticos o procesos a través de estadística y simulación. El modelo propuesto comparte el uso del mapa de flujo de valor como herramienta para la visualización de los desperdicios identificados y posterior a su eliminación para un mejor entendimiento.

2.4.2. Ocho disciplinas (8D).

El objetivo del 8D es enfrentar los problemas y descubrir las debilidades en los sistemas de administración que permiten la ocurrencia del problema [46]. Con esta herramienta se pueden analizar los problemas que conducen a un alto consumo energético y dictaminar acciones para su solución. Para su aplicación se requiere reunir a un equipo para la solución de problemas, usando ocho pasos estructurados con un enfoque en evidencias. El procedimiento es el siguiente:



- 1) Formar un equipo.
- 2) Definir el problema.
- 3) Implementar acciones de contención.
- 4) Identificar y verificar la causa raíz.
- 5) Determinar acciones correctivas permanentes.
- 6) Implementar y verificar las acciones correctivas permanentes.
- 7) Prevenir la recurrencia del problema y/o su causa raíz.
- 8) Reconocer los esfuerzos del equipo

Los ocho pasos listados están relacionados con el proceso de mejora continua con cada una (PDCA) en cada una de sus etapas. Los primeros tres pasos de la herramienta 8D son equivalentes a la etapa de planeación del ciclo de mejora continua, a su vez, el análisis de la causa y efecto (D4) y la definición de las acciones correctivas y probar efectividad (D5) corresponde a la etapa de Hacer respectivamente, por su parte, la implementación de acciones correctivas (D6) es homólogo de la etapa de Verificar. Por último, el establecer acciones preventivas (D7) y la reunión de cierre (D8) [47].

2.4.3. KPIs o Indicadores clave de desempeño.

Los indicadores de desempeño son fundamentales para poder determinar si el rumbo de un proyecto es el correcto o se requiere ajustar. Es una herramienta de gestión que provee un valor de referencia a partir del cual se puede establecer una comparación entre las metas planeadas y el desempeño logrado [48]. Los indicadores de desempeño han sido creados para establecer la comparación de elementos cuantitativos en diferentes combinaciones [49]. Los indicadores de desempeño de igual manera son necesarios para poder medir la efectividad de las acciones tomadas para reducir el consumo energético. Las empresas persiguen diversas medidas de eficiencia energética como la modernización de componentes afines con el

consumo energético, pero estos deben de ser evaluados a través de indicadores de desempeño para cuantificar los beneficios de las medidas de eficiencia energética empleadas [50].

2.4.4. Diagrama de Pareto.

Un grupo de herramientas estadísticas que permiten una mejor comprensión de la operación de los sistemas productivos a la hora de tomar las decisiones son “Las 7 Herramientas Estadísticas de Calidad”. Dentro de estas herramientas, destaca por su aplicación el diagrama de Pareto. Este es una gráfica que representa en forma ordenada en cuanto a importancia o magnitud, la frecuencia de la ocurrencia de las distintas causas de un problema. Se aplica para identificar las causas principales de los problemas en proceso de mayor a menor y con ello reducir o eliminar de una en una (empezando con la mayor y después con las posteriores o con la que sea más accesible) [51]. Con los diagramas de Pareto se busca agrupar e identificar las principales variables que denotan un consumo energético inusual en la organización.

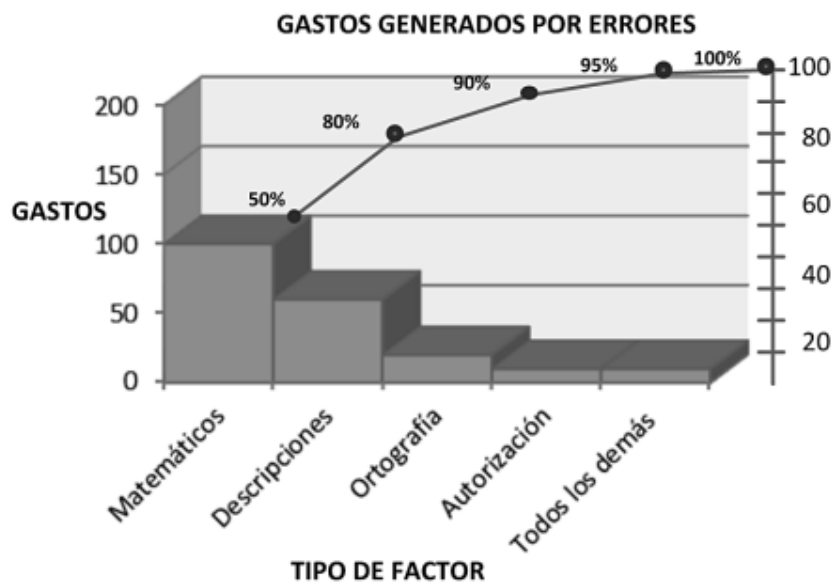


Figura 6. Diagrama de Pareto
Fuente: González [52]



2.5. Herramientas para la gestión de la información

La información se ha considerado un recurso trascendental para la sociedad, como se manifiesta en las diversas civilizaciones y etapas históricas de la práctica sociocultural. Entre otras funciones, se utiliza para soportar un hecho, transmitir conocimiento y comunicarse [53]. La información es un elemento fundamental para la generación del conocimiento, que es interpretado, contextualizado y comprendido por las personas [54].

La gestión de la información es "el conjunto de las actividades que se realizan con el propósito de adquirir, procesar, almacenar y finalmente recuperar, de manera adecuada, la información que se produce o se recibe en una organización y que permite el desarrollo de su actividad" [55]. En el contexto empresarial o desde el punto de vista de la administración, constituye un recurso decisivo que puede determinar el éxito de una organización siempre y cuando se gestione de manera eficiente.

2.5.1. Hojas de cálculo.

Es un programa o aplicación informática que permite la manipulación de datos numéricos y alfanuméricos dispuestos en forma de tablas para la operación sobre cálculos complejos. Las posibilidades de este tipo de aplicaciones son inmensas, ya que permite operar con cálculos complejos, fórmulas, funciones y elaborar gráficos de todo tipo [56].

Hay varios motivos para usar algunas herramientas digitales en la organización y sistematización de los datos cualitativos. Una de estas razones es facilitar la búsqueda de nombres, palabras o frases específicas, conjuntos particulares de datos o notas por fechas en los documentos; también permiten delimitar y vincular los datos, los códigos y las notas; y organizarlos y recuperarlos de acuerdo con el propósito del trabajo [57].



2.5.2. Planillas de inspección.

Las planillas de inspección o lista de verificación sirven como una herramienta de recolección de datos, también se la conoce como hoja de registro de información. La parte principal o esencial en la recolección de datos, es obtener toda la veracidad requerida en cualquier categoría. Las planillas de verificación se integrarán como la herramienta que nos permita recolectar toda la información en campo necesaria para desarrollar un análisis de proceso eficiente.

Una lista de verificación bien diseñada ayuda a evitar olvidos y asegurarse que las cosas se hacen de acuerdo con un procedimiento rutinario establecido. Una variante es el diseño de formularios adecuados que faciliten la recogida de los datos que se analizarán posteriormente. Al mismo tiempo que medimos y registramos los resultados, nos va mostrando cual es la Tendencia Central de las mediciones. Además, podemos ver la dispersión de los datos. Nos muestra entonces una información acerca de nuestros datos que no sería fácil de ver si sólo tuviéramos una larga lista con los resultados de las mediciones [58].

TIPO DE DEFECTO	0-5	6-10	11-15	16-20	TOTAL
Arañazos en el tablero	III	III	II		12
Falta cantonera	III				3
Color diferente	III				5
Patas dobladas	II				2
Arañazos en estructura y patas	III	I			6

Figura 7. Ejemplo de la lista de verificación.
Fuente: Herramientas de calidad [58].



2.6. Modelos para la gestión de energía

Se han desarrollado metodologías para maximizar la eficiencia energética de las organizaciones. Predomina en el diseño de las herramientas o metodologías para la eficiencia energética basados en el ciclo de la mejora continua que toman como referencia parcial o total el ciclo PHVA. Se incorporan algunos de los elementos del ciclo creando etapas o fases en los modelos donde se incluyan actividades relacionadas con el análisis de consumos energéticos, implementación de acciones o en algunos casos el monitoreo de los resultados los cuales van incorporando herramientas de manufactura esbelta en alguna etapa del modelo. Se observa la inclusión de la actividad de monitoreo y control de indicadores a nivel de procesos y empresas, aunque los indicadores pueden ser de consumo, de eficiencia y de gestión. Del mismo modo, incluyen un paso de diagnóstico, elaboración de un plan, evaluación económica de las tareas del plan, ejecución, verificación y seguimiento e identifican la necesidad de capacitación y/o entrenamiento de recursos humanos.

Menghi-Roberto, et al. [59] han especificado que las herramientas o metodologías diseñadas se basan en tres grandes categorías: herramientas o metodologías para el análisis de la energía, evaluación de la energía y ahorro de la energía. Las principales características de las herramientas de la evaluación de la energía consisten en el uso de herramientas Lean para identificar los desperdicios o herramientas de consumo de energía en tiempo real para identificar cómo la energía es consumida dentro del proceso de producción. Las herramientas o metodologías para el ahorro de la energía tienen como objetivo identificar y evaluar oportunidades de mejora para reducir el consumo de energía, principalmente se enfocan en la identificación de acciones correctivas y métodos para evaluar medidas de ahorro de energía.

Existen modelos que basan los consumos en las especificaciones de la maquinaria o equipo. Sin embargo, estos modelos requieren de una mayor inversión dependiendo de la



escala a implementar debido a que se necesita información detallada y precisa para poder establecer consumos y determinar ahorros en periodos de tiempo más cortos con mayor exactitud. Un caso es presentado por Gogula, et al. [60], quienes hicieron uso de la información recolectada en las placas de datos de los motores o equipos para la aplicación de su metodología en un caso práctico para la estimación del consumo de energía eléctrica.

3.1. Determinación de herramientas de mejora continua

En la actualidad el término de mejora continua es muy utilizado en la industria debido a que las empresas constantemente buscan herramientas y técnicas que le permitan elevar su competitividad dentro del mercado global. Las organizaciones se benefician con el incremento de la eficiencia dará como resultado producir más productos o bienes con el mismo capital.

La variedad de herramientas de mejora continua disponibles en ocasiones puede dificultar cual es la herramienta adecuada dependiendo del objetivo a lograr. Para lograr una implementación adecuada del modelo propuesto, se busca que los desperdicios de energía del proceso sean visibles. Una representación gráfica ayuda a comprender rápidamente el problema. Para este fin, se determinó que el mapa de flujo de valor es una herramienta crucial ya que proporciona una visión de todo el proceso y permite identificar las actividades que no agregan valor al proceso. El mapa de flujo de valor es una herramienta idónea cuando los sistemas de información relacionados al proceso productivo son confiables ya que nos permite generar un indicador de desempeño, así como desplegarlo de manera visual.

Una vez identificados los desperdicios es pertinente agrupar los procesos donde se generan la mayor cantidad para poder actuar sobre ellos. Ante esta consideración, se determinó utilizar el diagrama de Pareto para identificar los procesos críticos y seleccionar el área de análisis de causa raíz. Se recomienda el uso del diagrama de Pareto como herramienta de



identificación rápida de los equipos con el mayor desperdicio por su facilidad y sencillez para agrupar los principales equipos que demanden un mayor consumo bajo el principio de que el 80% de los problemas son causados por el 20% de las causas. Además, el registro de los datos con el analizador de potencia facilita el análisis y aplicación de los datos para verse reflejados en un diagrama de Pareto. El diagrama de Pareto toma relevancia en organizaciones donde los sistemas de información sobre el proceso productivo no sean los suficientes robustos para garantizar su veracidad y por ende, su interpretación.

Una vez acotada el área de estudio, se hizo uso de un diagrama de Ishikawa para relacionar un problema o efecto con las causas que posiblemente lo generan. Si fuera necesario un análisis más profundo, se empleará los cinco por que (5W). Para la aplicación de estas herramientas se integrará un equipo multidisciplinario con el objetivo de analizar el problema desde distintas perspectivas y determinar la causa raíz. Posteriormente se deben generar acciones correctivas para una solución inmediata y preventivas para evitar la recurrencia mediante el ciclo PHVA.

Es importante hacer el seguimiento y determinar el progreso en la eficiencia eléctrica del proceso. Por ello se propone realizar un KPI para evaluar el rendimiento de la empresa por unidad producida y que los directivos decidan si deben continuar con la forma de trabajo actual o si se requiere hacer un nuevo proyecto de mejora.

3.2. Desarrollo del esquema de modelo

Los modelos mencionados previamente establecen los pasos del modelo y el objetivo específico de cada uno de ellos, no obstante, no establecen una guía metódica para poder lograr el objetivo específico de cada uno de los pasos o etapas. Se observó que ninguno de los modelos revisados podía ser implementado directamente en la compañía debido a la falta de recursos o habilidades necesarios para la implementación. Debido a las necesidades y



características de la empresa bajo estudio, se requería un modelo con una descripción detallada de lo que es necesario realizar en cada etapa o paso para lograr la mejora de la eficiencia energética. Por ello se tomaron las mejores prácticas de las metodologías previamente mencionadas y se desarrolló un nuevo modelo llamado “E-lean pyme”.

Para poder lograr una ejecución efectiva del proyecto es necesaria la participación y soporte de los directivos de la organización. ISO 50001 reconoce que el involucramiento de la alta dirección es clave para la correcta implementación de un Sistema de Gestión Energético a través de su estructura donde indica que la alta dirección debe demostrar liderazgo y compromiso con respecto a la mejora continua de su desempeño energético y de la eficacia de su Sistema de Gestión de la Energía. Por su parte, el Modelo de Gestión Energético para el sector productivo colombiano propuesto refiere el compromiso de la alta dirección para la asignación de recursos y responsabilidades. Además, el Gobierno Canadiense en cooperación con Energy Star propone a través de su sistema ser más específico en lo que respecta al compromiso de la alta dirección, creando un responsable directamente para la gestión del sistema. La persona responsable de la administración energética de la empresa será el “director de Energía”. Por lo expuesto, se consideró que el primer paso en el modelo debe de ser la sensibilización de los directivos.

Las herramientas de manufactura esbelta pueden ser aplicadas a cualquier tipo de industria para disminuir el consumo de energía e incrementar la eficiencia. Analizamos la implementación de modelos diseñados por Wen-Xuanhao, et al. [18], Baysan-Serdar, et al. [19], Gogula, et al. [60] y Richards-Milward, et al. [61] para identificar y seleccionar las mejores prácticas implementadas por esos modelos para crear uno nuevo capaz de adaptarse a las necesidades de la cultura de la compañía. Como resultado de esta investigación seleccionamos aquellas que pueden ser fácilmente adoptadas por la compañía, al ya estar familiarizados con esas herramientas o prácticas en sus procesos.



Los modelos disponibles en la literatura hacen mención del uso de indicadores de desempeño para el seguimiento. Sin embargo, a la vista de un resultado negativo las metodologías no plantean una alternativa al no contemplar los pasos a seguir para reorientar las acciones para estabilizar el indicador. Se recomienda el uso de indicadores de desempeño al igual que las demás metodologías, No obstante, se establecen los pasos a seguir para llevar a cabo una verificación de la efectividad de las acciones que puedan afectar el desempeño del indicador.

Es esencial que se provea suficiente entrenamiento y formación al personal en los métodos requeridos para que se adopten las mejores prácticas [62]. El capital intelectual es parte fundamental para la aplicación de cualquier metodología o herramienta que pretenda disminuir los consumos energéticos de una organización para hacer un uso eficiente. No obstante, suele ser un tema que no es contemplado al momento de desarrollar los modelos y que dificulta una correcta ejecución al no contar con las habilidades técnicas o conocimiento teórico. Por lo tanto, si lo que se desea es que pueda ser replicado por cualquier persona que desee emprender un proyecto de eficiencia energética, debe de ser un factor por considerar.

El modelo propuesto utiliza las herramientas de mejora continua para el análisis y evaluación del consumo energético en el proceso, identificación de acciones correctivas y métodos para evaluar el ahorro de energía. El modelo propuesto hace uso de ambas maneras para la colecta de información de entrada para el análisis de los consumos, a través de las facturas o recibos de consumo de energía y de la placa de datos del motor, sin embargo, los consumos mencionados en los equipos son validados en mediciones físicas para aumentar la confiabilidad de la estimación de consumo energética disminuyendo el sesgo considerablemente que puede comprometer la efectividad de las acciones.



En cambio, el modelo propuesto busca integrar el uso de herramientas de mejora continua para la identificación de acciones correctivas, validación de su efectividad y estimación potencial de ahorro, además, adiciona la fase de monitoreo para el seguimiento de las acciones, de esta manera, se mantiene el ciclo de la mejora continua PHVA.

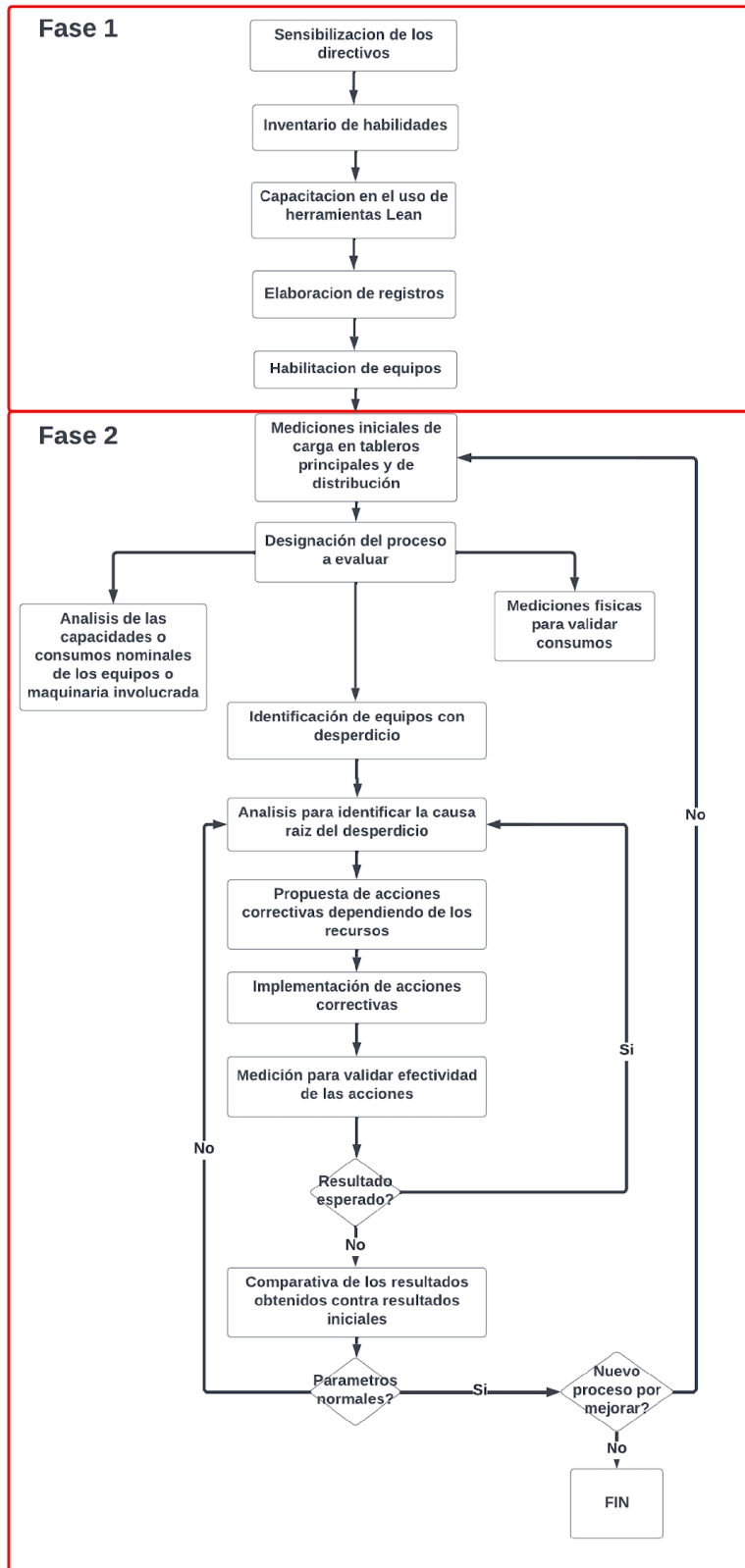


Figura 8. Modelo de E-lean pyme



3.3. Validación del esquema de modelo

3.3.1. Sensibilización de directivos

Se realizó una reunión en la cual participaron el responsable de este estudio, el propietario de la empresa y el personal involucrado en la ejecución del proyecto. Se expuso la importancia de la eficiencia energética desde el contexto internacional en temas ambientales hasta la rentabilidad del proceso de manufactura. Posteriormente se definieron el alcance del proyecto a implementar y los recursos humanos necesarios para la ejecución.

3.3.2. Inventario de habilidades

Las habilidades del personal involucrado en la ejecución del proyecto deben de ser las adecuadas tanto técnica como administrativamente. Es necesario determinar la combinación de conocimientos, experiencia, destrezas, educación, habilidades presentes en la organización para realizar una correcta gestión del conocimiento en las organizaciones [63]. Por ello, se verificó el conocimiento del personal que el propietario de la empresa indicó con disponibilidad para participar en este proyecto. Se buscó conocer sus experiencias y conocimientos en temas de mejora continua, conceptos de energía eléctrica, y técnicas o metodologías para determinar consumos de energía. El cuestionario aplicado consistió en 5 preguntas de opción múltiple (Si o No); adicionalmente se preguntó cuál era el puesto que desempeñaban dentro de la organización. Las preguntas realizadas fueron las siguientes:

- ¿Puesto en la organización?
- ¿Sabes qué es la eficiencia energética?
- ¿Has realizado mediciones de energía eléctrica con algún equipo?
- ¿Conoces las herramientas de manufactura esbelta o control de calidad?



- ¿Has utilizado alguna herramienta de manufactura esbelta o control de calidad anteriormente en un ámbito académico o laboral?

La información obtenida fue empleada para determinar si existía la necesidad de una capacitación en el uso de herramientas de mejora continua y equipos de medición. En una organización donde el personal destinado a aplicar el modelo de gestión de la energía eléctrica que ya cuente con conocimiento básico de herramientas de mejora continua se puede ejecutar los pasos de dicho modelo sin mayor inconveniente. El uso de estas herramientas permite identificar, analizar y proponer las acciones necesarias para el mejoramiento de la eficiencia energética de la empresa. En las empresas donde no se cuente con este conocimiento ya adquirido por los ejecutores del modelo, es necesaria una capacitación hasta que sean dominadas estas herramientas.

3.3.3. Capacitación en el uso de herramientas de mejora continua

La capacitación del personal en las empresas ha pasado de un gerenciamiento orientado a optimizar principalmente el capital a uno orientado a optimizar también el personal. En este contexto la capacitación deja de ser una actividad secundaria para convertirse en factor crítico de las estrategias de competitividad de las empresas [64]. En este estudio se determinó capacitar al personal en la empresa en los temas de mayor incidencia recolectados en la encuesta de conocimiento. Los temas fueron abordados desde un punto de vista teórico con presentaciones ante el grupo. Los conocimientos teóricos fueron reforzados con ejercicios prácticos en las instalaciones de la organización donde se validaron las habilidades en el uso y manejo de los equipos de medición. Además, se realizaron ejercicios de simulación para reforzar el uso de las herramientas propuestas en el esquema del modelo.



3.3.4. Elaboración de registros

La gestión de la información es el proceso de organizar, evaluar, presentar, comparar los datos en un determinado contexto, controlando su calidad, de manera que esta sea veraz, oportuna, significativa, exacta y útil y que esta información esté disponible en el momento que se le necesite [65]. El manejo de la información es fundamental para una correcta gestión del proyecto. La elaboración de registros tiene la finalidad de administrar la información de manera eficiente para una mejor toma de decisiones. Los registros creados para ejecutar todos los pasos del esquema del modelo son:

- Registro de inventario de equipo.
- Creación de formato para elaboración de mapa de flujo de valor.
- Creación de formato para elaboración de análisis de causa raíz.
- Registro o lista de verificación de condiciones de equipo de medición.

Se emplearon los registros como información de entrada para el análisis del consumo energético y las capacidades del proceso.

3.3.5. Habilitación de equipos de medición

Las mediciones deben de ser precisas y veraces para que el análisis y las propuestas de mejora sean las indicadas, debido a esto, la habilitación de los equipos de medición debe ser la adecuada. La calidad de las medidas es exigida dentro de las empresas por medio de normatividades, referenciales, solicitudes directivas y reglamentos internos, esta puede alcanzarse a través de calibraciones o verificación de equipos [66]. Para las mediciones físicas en tableros y equipos se empleó un medidor de potencia trifásico de la marca HIOKI modelo PQ3100-04-6000.



El equipo de medición antes de ser utilizado fue validado con una lista de verificación para determinar la viabilidad de su uso. Se revisó visualmente la existencia de todos los componentes necesarios para las mediciones y que no presentara daños físicos que comprometan el funcionamiento del equipo. Los elementos considerados en la inspección son los recomendados por el fabricante en las hojas técnicas y manuales de operación suministrados por ellos mismos. El formato utilizado fue el siguiente:

Tabla 1. Lista de verificación de condiciones del equipo de medición.

Elementos por verificar	Buen estado	Daño estructural	Observaciones
Cables de voltaje.			
Adaptadores de corriente alterna.			
Clips para los sensores de corriente.			
Sensor de corriente flexible de corriente alterna.			
Tarjeta de memoria SD para almacenamiento de datos.			
Paquete de baterías.			
Pantalla de monitoreo.			

3.3.6. Mediciones iniciales en tableros de distribución.

Es importante realizar un reconocimiento inicial en el tablero de distribución para planificar las actividades de mediciones de consumo eléctrico. Es importante contar con los adaptadores adecuados al rango de medición y tamaño físico acorde a los cables conductores para lograr una mayor certidumbre de los valores obtenidos.

Las mediciones iniciales en el tablero de carga principal se realizaron con el analizador de potencia HIOKI PQ3100 como se tenía previsto. Antes de realizar las mediciones se realizó



una inspección física del equipo para garantizar que los componentes se encontraran en condiciones de usar utilizadas. No se identificó daño o anomalías en el equipo, por lo tanto, la inspección mostro que el equipo estaba listo para ser usado. Posteriormente, se realizó un reconocimiento del tablero de carga principal y se conectaron los cables de voltaje y adaptadores de corriente al tablero eléctrico y se verifico que la instalación fuera la correcta.

Para llevar a cabo las mediciones iniciales en los tableros de distribución, fue necesario ajustar la sensibilidad del equipo para que detectara caídas de tensión o incrementos sustanciales de corriente atípicos en la demanda de energía. Además, fue fundamental el asegurarse de que la configuración del equipo y la instalación en las fases del tablero principal fueran correspondientes a la dirección en que se suministraba la energía para evitar valores erróneos. Los parámetros por medir fueron factor de potencia, voltaje y corriente en tiempo real. Adicionalmente, los disturbios por incrementos y decrementos de voltaje permitieron correlacionar esos momentos de tensión con las operaciones cotidianas de la organización.

3.3.7. Designación del proceso a evaluar.

La selección del proceso a evaluar debe de considerar las características de los equipos o maquinaria, tiempo de operación del proceso, especificaciones técnicas, capacidades de los equipos empleados para la medición con el objetivo de poder completar una evaluación minuciosa del proceso y disminuir el sesgo. Para poder determinar la eficiencia operativa de los equipos es necesaria conocer las capacidades nominales del equipo de acuerdo con el fabricante. Por tal motivo, el conocimiento y entendimiento de los procesos de manufactura para determinar los requerimientos reales del proceso a los cuales se debe adecuar para alcanzar la eficiencia energética. En estos casos resulta clave emplear herramientas como el diagrama unifilar.



El diagrama unifilar es un documento de referencia que nos permite identificar la maquinaria que demanda los mayores consumos. Además, identifica los tableros secundarios derivados de los equipos conectados al tablero principal. No obstante, es necesario validar físicamente en el tablero que sea verídica la información plasmada en el diagrama unifilar. Por esta razón, la determinación del proceso a evaluar se realizó al identificar las líneas donde se observó la mayor demanda de energía hacia un tablero de distribución secundario o una maquinaria conectada directamente al tablero principal.

Una alternativa al diagrama unifilar en la identificación de la maquinaria o procesos que tienen la mayor demanda de energía es el uso de una cámara termográfica. Debido al efecto Joule, las líneas con mayor conducción de corriente generan una mayor cantidad de calor, por lo que se generan “puntos calientes (altas temperaturas)”. Esto nos indicó cual era la maquinaria o procesos que tenían una mayor demanda de energía, lo cual fue una razón suficiente para designar el proceso a evaluar. El uso de la cámara termográfica FLUKE Ti10 fue complementario a la medición eléctrica en términos de la seguridad de la infraestructura eléctrica de la empresa, al permitir identificar si la temperatura es lo suficientemente alta para dañar el aislante eléctrico de los conductores.

3.3.8. Inventario de equipos.

El desarrollo de levantamiento en campo con el fin de recolectar la información técnica de equipos o maquinaria plasmada en la placa de datos de los motores eléctricos de corriente alterna, trifásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla fue conducido una vez designado el proceso a evaluar. La información mínima por coleccionar de las placas de motor fue:

- Marca y modelo del equipo.
- Descripción del equipo.
- Voltaje.



- Potencia máxima.
- Amperaje.
- Frecuencia de operación.
- Factor de Potencia.
- Eficiencia nominal.

Con el objetivo de simplificar la colecta de datos para conformar el inventario de equipos se utilizó la siguiente planilla de inspección o lista de verificación.

Tabla 2. Plantilla de recolección

Capacidades nominales de los equipos							
Número de equipo	Marca y modelo del Equipo	Descripción del equipo	Voltaje	Potencia Máxima	Amperaje	Frecuencia	F.P.

Esta información sirvió de base para la elaboración de los diagramas de Pareto, donde se buscó ordenar de manera descendente los pocos equipos vitales hasta llegar a los muchos equipos triviales que implican el mayor consumo energético los cuales fueron prioritarios al momento de realizar las mediciones de consumo en campo al representar la mayor área de oportunidad en caso de detectar anomalías en su funcionamiento.



3.3.9. Información sobre consumo energético

En general, la mayoría de las Pymes en México tienen costos de energía elevados; sin embargo, muy pocos llevan un registro del consumo y del costo de esta y con frecuencia desconocen cuales son los conceptos que integran el cobro. En este estudio, la principal fuente de información de los costos de energía fueron las facturas expedidas por la empresa pública que provee energía eléctrica. Las variables que se obtuvieron de la factura de energía eléctrica fueron a) el factor de potencia que se mide en porcentaje y especifica el valor mensual del factor de potencia registrado durante el periodo de facturación; b) la demanda máxima en kW registrada por el equipo de medición de CFE, que sea mayor a cualquier otro registro en el periodo de facturación; c) la cantidad de kilowatts hora (kWh) consumidos en el periodo de facturación [67]; y d) la "demanda contratada" cuyo valor nos indica la demanda que estipulo en el contrato de suministro y nos orienta con respecto a las posibles sanciones al exceder este valor [68]. Esta información junto con los resultados de la medición de consumos de equipo se utilizó para el análisis de consumo eléctrico y del proceso y desarrollo de propuestas de mejora.

3.3.10. Medición de consumo de equipos

El objetivo del diagnóstico energético es identificar las oportunidades o proyectos de ahorro energético en los equipos y procesos claves de la empresa. Las mediciones de consumo de los equipos se determinaron con un analizador de potencia HIOKI PQ3100. Las mediciones del consumo se realizaron directamente en los equipos mientras que otras, por el diseño de la maquinaria que no permitió el acceso a las partes energizadas del motor de alguna maquinaria o eran un riesgo para realizar la medición, se realizaron desde el tablero inmediato al cual estaba alimentada la maquinaria. Las mediciones obtenidas se analizaron a través de diagramas de Pareto y gráficas de energía para la identificación de anomalías o desviaciones que requieran corrección.



3.3.11. Análisis del consumo eléctrico y del proceso

Se buscó información con los responsables de área para elaborar un mapa de flujo de valor actual energético y para identificar los desperdicios que han de ser eliminados, siempre y cuando, la robustez de la información lo permita [69]. Asimismo, con esta misma información se buscó determinar los indicadores de desempeño del proceso evaluado (Kw/h por pieza o unidad) para conocer la eficiencia del proceso productivo. La determinación de la causa raíz de los desperdicios que imposibilita la operación en la optimalidad de los equipos resulta crucial para la toma de decisiones. Para su identificación se utilizó la herramienta de los cinco ¿Por qué? y el diagrama de Ishikawa. Los resultados obtenidos fueron utilizados para la elaboración de propuestas de acciones correctivas, acorde a la disponibilidad de recursos de la organización.

Se analizaron los resultados obtenidos en el proceso de medición para verificar anomalías y buscar su origen para eliminarlas o reducirlas.

3.3.12. Propuesta e implementación de acciones correctivas

Las acciones correctivas y preventivas se determinaron tomando los resultados obtenidos en los análisis previos. Las propuestas realizadas se realizaron tomando en consideración las características del proceso y las observaciones e información proporcionada por el personal respecto a las políticas de la empresa y la capacidad de los recursos humanos disponibles. Además, se buscó que la recuperación de la inversión fuera factible en un plazo moderado. Para las propuestas de luminarios se consideraron tipo de material de construcción, el consumo en watts, la emisión en lumens, la vida útil y costo por unidad. Se estimaron los beneficios ambientales de la propuesta utilizando como referencia el factor de generación de energía eléctrica del 2019 presentado por el Comité Selecto de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales del Reunido Unido.



3.3.13. *Comparativa de los resultados*

Al concluir la implementación de cambios, se deben de comparaciones antes-después para verificar que funcionan. La idea es identificar los puntos en los que se acertó y analizar aquellos en los que no. Para ello, se hará un comparativo de consumos eléctricos y se verificará que las operaciones no se vean afectadas por tal cambio.

4.1. Determinación de herramientas de mejora continua

Las herramientas de mejora continua deben de ser acorde a las características de la organización para que su implementación sea viable. En este caso de estudio se propuso inicialmente el uso del mapa de flujo de valor para el despliegue visual; el uso del herramientas estadísticas para analizar la información, el desarrollo de acciones de contención mediante un ciclo PHVA y por último la creación de un indicador de desempeño del proceso. No obstante, al momento de realizar la implementación se observó que los sistemas de información o administración de la producción están en desarrollo. Como consecuencia, no existe información suficiente para aplicar herramientas como el mapa de flujo de valor e indicadores de desempeño. Sin embargo, se aplicaron planillas de inspección y se generó información que permitió aplicar diagramas de Pareto y diagramas de Ishikawa para implementar el modelo E-lean PYME.

4.2. Validación del modelo

4.2.1. Sensibilización de directivos

La sensibilización de los directivos y del personal involucrado facilitó el proceso de implementación del modelo. Sin embargo, se presentaron barreras durante sensibilización de los directivos, tal como el escepticismo por parte del propietario de la empresa al asumir que el



desarrollo del modelo implicaba una afectación a la continuidad del proceso productivo. Una vez aclarado el procedimiento y analizado los beneficios, se determinó continuar con la implementación. Young-Christina y Samson-Danny [70] refieren que a medida que las organizaciones modernas se basan cada vez más en equipos, los líderes desempeñan un papel fundamental para afectar los resultados organizacionales al regular las actitudes y comportamientos de los empleados.

4.2.2. Inventario de habilidades

Se evaluaron a cuatro empleados de la organización que tenían afinidad con actividades de eficiencia energética. El resultado del inventario de habilidades mostró que las personas no tenían una relación en concreto con los temas de eficiencia energética por motivo de sus actividades laborales. Dos empleados laboran como operadores técnicos (mano de obra especializada), un tercero como almacenista y una última persona, como personal administrativo. En lo respectivo a la aplicación del inventario de habilidades se observó que la mejor manera de aplicar dicha encuesta era de manera presencial ya que el grado académico de los encuestados jugó un rol importante al momento de comprender y responder las preguntas del cuestionario para determinar el inventario de habilidades.

Se destaca que únicamente el 25% de los encuestados mencionó tener experiencia previa en el uso de herramientas o equipos de medición de energía como un analizador de potencia o un multímetro. Adicional a eso, el 25% tiene conocimiento sobre herramientas de manufactura esbelta o control de calidad, mientras que el 50% de los encuestados tienen conocimiento teóricos sobre la eficiencia energética. Los encuestados que mostraron un conocimiento más amplio o afinidad con los temas de eficiencia energética fueron aquellos con el mayor grado académico. Por tal motivo, y ante la disparidad de los conocimientos del



personal candidato a aplicar el modelo, resulta crucial una capacitación previa para nivelar conocimientos y habilidades.

4.2.3. Capacitación en el uso de herramientas de mejora continua

La capacitación sobre herramientas de mejora continua fue necesaria debido a que el 25% del personal involucrado en la aplicación del modelo propuesto tenía conocimiento en sobre estas herramientas. La capacitación se llevó a cabo de manera teórica únicamente para estimular la parte cognitiva y posteriormente de manera práctica, para reforzar la parte psicomotriz y validar que el personal haya comprendido el uso correcto de las herramientas. Las herramientas de las cuales recibieron capacitación fue el diagrama de Pareto, Ishikawa y los cinco ¿por qué? La capacitación únicamente fue impartida a la mitad de las personas que podían aplicar el modelo propuesto. El tipo de contratación de personal considerado mano de obra especializado destinado a la ejecución del modelo (subcontratación) dificulta la existencia de espacios y disponibilidad por parte de la organización para llevar a cabo capacitaciones.

4.2.4. Elaboración de registros.

La elaboración de los registros y formatos no tuvo ningún contratiempo con excepción de aquellas modificaciones que tuvieron que realizarse al registro de inventario de equipo para que la información capturada se asemejara a las de las características de equipos que no cuentan con motores. No obstante, el contar con los formatos y registros disponibles no garantizó que estos pudiesen ser implementados debido a limitaciones en la cantidad y calidad de la información sobre proceso productivo.

4.2.5. Habilitación de equipos de medición.

La habilitación del equipo de medición fue la llevado a cabo en el analizador de potencia trifásico de la marca HIOKI modelo PQ3100-04-6000. Al momento de verificar que el equipo se



encontrara en condiciones adecuadas para su uso, se empleó el formato de lista de verificaciones de equipo. La implementación de este paso fue hecha a través de una inspección visual, la cual dio como resultado que estructuralmente el equipo estaba listo para ser utilizado. Los resultados de este paso se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3 Lista de verificación en campo

Lista de verificación de condiciones de equipo de medición.			
Elementos por verificar	Buen estado	Daño estructural	Observaciones
Cables de voltaje.	X		
Adaptadores de corriente alterna.	X		
Clips para los sensores de corriente.	X		
Sensor de corriente flexible de corriente alterna.	X		
Tarjeta de memoria SD para almacenamiento de datos.	X		
Paquete de baterías.	X		
Pantalla de monitoreo.	X		

4.2.6. Mediciones iniciales en tablero de distribución.

El análisis de los consumos energéticos es clave para el desarrollo de los modelos o herramientas para la gestión de la eficiencia energética de las empresas. Una forma de obtener la información de entrada para el análisis puede ser a través de las facturas o recibos que las organizaciones tienen que cubrir con la empresa suministradora de energía [71]. No obstante, una de las limitantes de partir con estimaciones basadas únicamente en el consumo facturado es la poca flexibilidad que ofrece ante los incrementos o decrementos abruptos de los sistemas de producción influenciados por la demanda de los consumidores. Tal situación puede comprometer la objetividad de los resultados obtenidos por la implementación de acciones.



Las mediciones iniciales en el tablero de carga principal mostraron rápidamente caídas de tensión con un variaciones en la corriente que oscilaba entre los veinte y treinta amperes en cada una de las tres fases, asimismo variaciones de dos a tres volts. Aunado a esto, la forma de onda del evento presento una distorsión considerable en lo que respecta al amperaje. Por otra parte, el factor de potencia presento alteraciones considerables con valores de 99% hasta 75%. El factor de potencia promedio durante las mediciones presento un valor de 87%, distante de lo observado en el histórico de las facturas de consumo de energía de la organización. Para finalizar, las mediciones del cable neutro en el tablero de cargas principal fueron hechas para validar un posible desbalanceo en las fases. Las mediciones iniciales en tableros de distribución son una manera rápida y eficiente para determinar posibles áreas de mejora. Su ejecución identifica cuales son las fases que demandan un mayor consumo de energía. En una PYME puede darse el caso que no se cuente con una gran cantidad de operaciones o maquinaria para la manufactura o fabricación de un producto terminado que demanden grandes cantidades de energía. No obstante, las características de la maquinaria que forma parte de un proceso productivo pueden tener consumos de energía considerables.

4.2.7. Designación del proceso a evaluar

La maquinaria y equipo empleada en el proceso productivo de la empresa se caracterizó por ser de manufactura china. La información presentada en la placa de datos de motor se limitó únicamente al voltaje y a la potencia máxima de los equipos y los manuales de operación y mantenimiento de los equipos no se encontraban disponibles por parte del fabricante. No obstante, al conocer la potencia máxima expresada en vatios de los equipos, se pudo identificar de manera preliminar cuales son los equipos que demandan un mayor consumo de energía. Esto, no necesariamente significa que sea el equipo que tenga la mayor oportunidad de mejora, sin embargo, fue un indicio del equipo o contribuyente a la distorsión de la red que se observó en las mediciones iniciales del tablero de carga principal.



Al concluir las mediciones eléctricas, se observó que el equipo con el mayor consumo fue la sublimadora. Esta se puede describir como una plancha con diez resistencias que se calientan hasta alcanzar la temperatura programada para poder adherir el diseño impreso al telar de poliéster sin que este se decolore o presente quemaduras.

Tabla 4. Equipo o maquinaria del proceso designado para evaluación.

Inventario de equipos		
Numero de equipo	Marca y modelo del equipo	Descripción del equipo
1	Plotter ND	Impresora Industrial
2	Plotter - Colorido	Impresora Industrial
3	Plotter ND	Impresora Industrial
4	Jiangchuan JC-26B	Calandra Sublimadora
5	Extractor - CL 750	Extractor de cortadora laser
6	Extractor - CL 750	Extractor de cortadora laser
7	KD-1814-SY2	Cortadora Laser

Para validar lo mostrado en el inventario de equipos se realizaron mediciones con la cámara termográfica FLUKE Ti10 para identificar los componentes o equipos con las temperaturas mas elevadas. La primer medición se realizó en el tablero principal de carga para identificar las conexiones con mayor temperatura, de la cual se identificó la única conexión trifásica, que correspondía a la sublimadora, como se muestra en la figura 9 y 10.

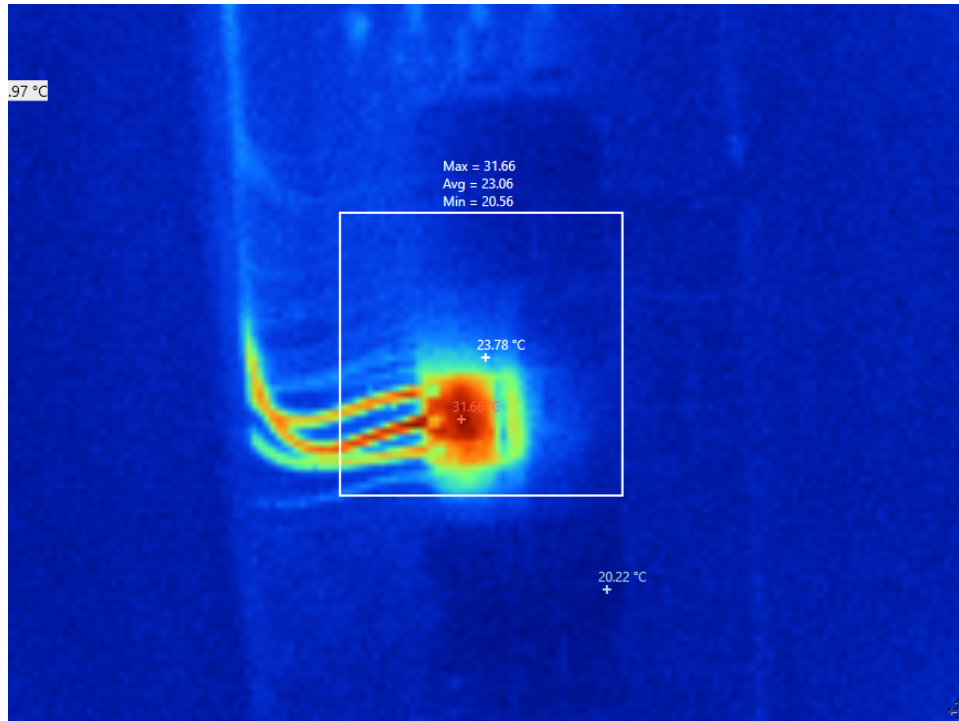


Figura 9. Temperatura de conexiones en tablero principal.

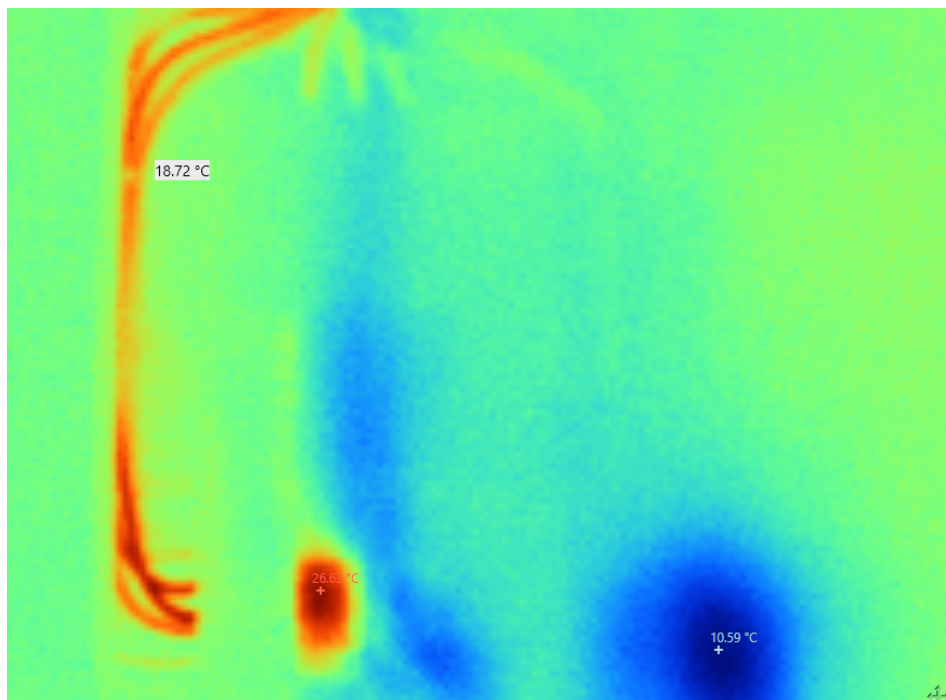


Figura 10. Temperatura de conexiones en tablero principal.

La primer medición se realizó a los rodillos de la sublimadora, los cuales son calentados para que la imagen impresa se adhiera al rollo de poliéster

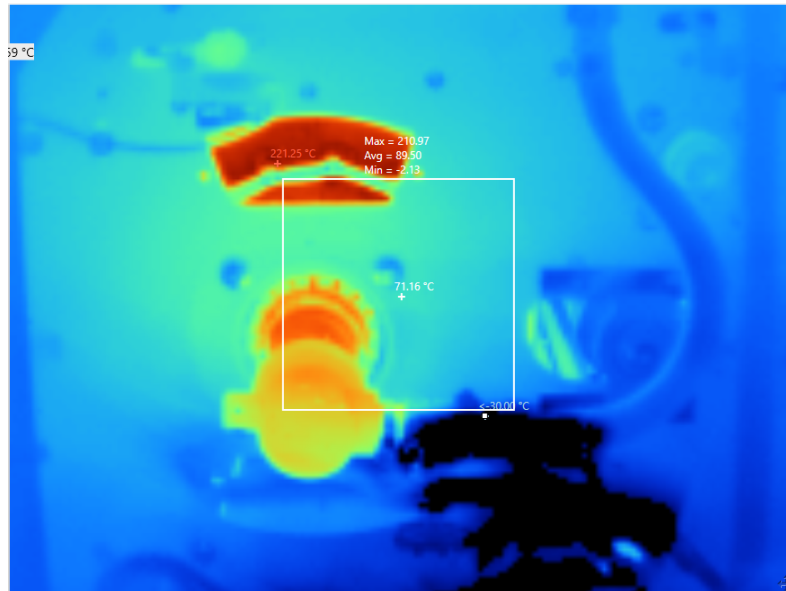


Figura 11. Temperatura ideal en rodillos (220°C)

No obstante, la temperatura suele tener variaciones siempre en decremento de los 220°C hasta 190°C, como se muestra en la figura 12.

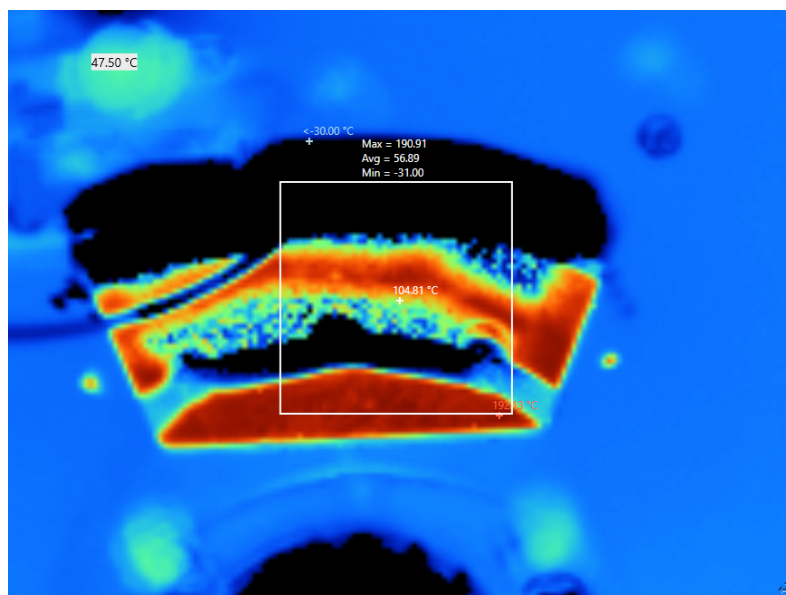


Figura 12. Temperatura ideal en rodillos (220°C)



4.2.8. Inventario de equipos.

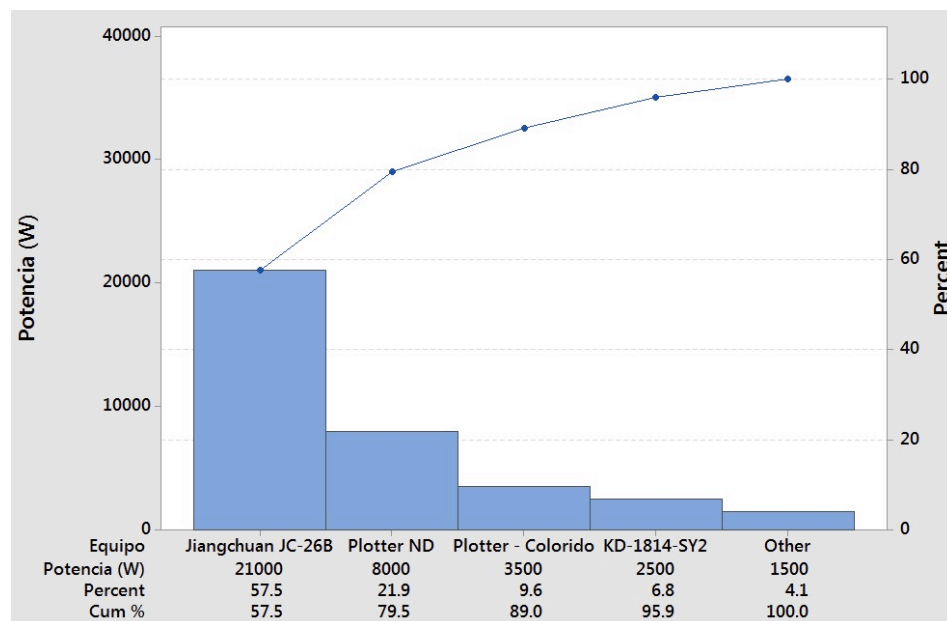
El inventario de equipo fue realizado con el uso de planillas para coleccionar la información de manera rápida, no obstante, el formato inicial propuesto para dicha actividad no fue viable ya que las características de la maquinaria de la organización no contaban con motores trifásicos para su funcionamiento. Por tal motivo, fue necesario ajustar el formato en el cual se registró las especificaciones de operación de la maquinaria ya que la maquinaria empleada en la organización se caracterizaba por no desplegar información convencional que se observa en una placa de datos de motor como lo es: amperaje, factor de potencia y el número de fases. El emplear formatos genéricos para realizar inventarios de equipos puede dar como resultado el omitir información valiosa para el entendimiento del funcionamiento del equipo, por este motivo, se considera necesaria un reconocimiento preliminar de los equipos para

Las adecuaciones hechas al formato para el levantamiento del inventario de equipos consistieron en un formato con espacios para la escritura, en vez de únicamente validación de información. Se agregó una columna para la potencia máxima que fue de utilidad para la identificación rápida del equipo con mayor consumo de manera nominal. Además, los equipos al no ser de manufactura occidental no contaban con manuales de operación o mantenimiento en los cuales se mostrará información sobre los valores mínimos o máximos de corriente, tensión y potencia en el funcionamiento de la maquinaria, por lo cual no fue posible determinar estos valores de manera nominal. Como resultado de la modificación se obtuvo el siguiente inventario de equipo con sus capacidades nominales:

**Tabla 5. Inventario de equipo con capacidades nominales.**

Inventario de equipos							
Numero de Equipo	Marca y modelo del Equipo	Descripción del equipo	Voltaje	Potencia Máxima	Amperaje	Frecuencia	F.P.
1	Plotter ND	Impresora Industrial	220V-240V	3,000W	ND	50/60 Hz	ND
2	Plotter - Colorido	Impresora Industrial	230V	3,500W	16A	50 Hz	ND
3	Plotter ND	Impresora Industrial	220-240V	5,000W	ND	50/60 Hz	ND
4	Jiangchuan JC-26B	Calandra Sublimadora	220V	21,000W	ND	50/60 Hz	ND
5	Extractor - CL 750	Extractor de cortadora laser	220V	750W	ND	60 Hz	ND
6	Extractor - CL 750	Extractor de cortadora laser	220V	750W	ND	60 Hz	ND
7	KD-1814-SY2	Cortadora Laser	220V	2,500W	ND	60 Hz	ND

Representado con diagrama de Pareto:

**Figura 13. Pareto de consumo de energía en equipos**

Se puede afirmar por la experiencia suscitada al momento de realizar el inventario de equipos existe una posibilidad de verse limitado o imposibilitado para realizar dicho inventario al no contar con la información disponible. Sin embargo, el no realizar un inventario de equipos o realizar uno con información limitada demostró que no impide el desarrollo del modelo E-Lean PYME. Aun así, el contar con este inventario de equipo facilitó la implementación del modelo.



Se sugiere que en caso de contar con más información de referencia por parte del fabricante se documente para su posible uso.

4.2.9. Información sobre consumo energético

En el caso de estudio, dentro del recibo se observó que la empresa tiene contratada una tarifa denominada como "Gran Demanda Media Tensión Ordinaria" la cual se caracteriza por permitir una carga conectada máxima en kilowatts de 100 Kw, sin embargo, la empresa contaba con una carga conectada del 62%. Este tipo de tarifa es común encontrarla en oficinas o actividades económicas en vez de actividades industriales ya que puede ser una limitante para la expansión del proceso productivo si este requiere de una mayor cantidad de maquinaria. El cambio de tarifa por una que permita una mayor carga conectada implicaría para la empresa una facturación por horario, teniendo un costo distinto el kilowatt dependiendo de la hora en que sea consumida la energía.

El factor de potencia más bajo observado en la organización fue de 94.82% mientras que el más alto de 99.33%, el promedio del factor de potencia de los últimos 12 meses fue de 97.29%. Esto significa que la corriente suministrada a la empresa es aprovechada casi en su totalidad, por lo tanto, la empresa cuenta con un factor de potencia libre de penalización, es importante mencionar que la empresa labora once horas al día y por el tipo de tarifa contratada, es el resultado del promedio de las veinticuatro horas del día.

La disposición del historial del consumo eléctrico de la empresa nos permitió determinar el comportamiento en consumo eléctrico de la empresa. No obstante, en caso de no haber contado con esta información la implementación del modelo no se hubiera visto comprometida ya que las mediciones físicas hubieran aportado esta información con mayor detalle. Los resultados permitieron identificar los puntos débiles del proceso [72], por lo que se demostró



que las herramientas empleadas adecuadamente producirán beneficios en cualquier organización [73].

4.2.10. Medición de consumo de los equipos

Las mediciones de los consumos de los equipos se realizaron desde el tablero principal de distribución. El diagrama de unifilar como se mencionó anteriormente fue un documento de referencia para la identificación de la ramificación de la infraestructura eléctrica de la empresa. Se hace mención que las mediciones de consumo desde la fuente, es decir, el equipo o maquinaria no fueron posibles de realizar ya que el diseño de los equipos no permitió el acceso a la zonas energizadas para tomar lecturas, esto con el objetivo de proteger la integridad del usuario.

El contar con un tablero de carga principal o secundario con un adecuado y vigente etiquetado que identifique las conexiones de los equipos resulta fundamental cuando no es posible realizar mediciones desde la fuente por motivos de diseño o seguridad de los que realizan las mediciones. La identificación de los equipos a medir en el tablero principal de carga fue llevada a cabo con la información obtenida del diagrama unifilar, asimismo, la cámara termográfica utilizada con anterioridad nos mostró cuales eran las áreas con mayor temperatura, las cuales coincidían con los equipos de mayor consumo. En este caso de estudio donde se realizaron las mediciones únicamente contaban con un proceso productivo, el cual es la fabricación de piezas textiles con distintas formas.

La maquinaria por medir se conformaba de dos impresoras industriales tipo plotters donde los diseños son impresos acorde a los requerimientos de los clientes, una sublimadora para la adhesión del diseño impreso en los rollos de tela poliéster a través del calor y la presión ejercida por la sublimadora, adicional a eso se cuenta con una cortadora laser de CO² con control numérico por computadora donde los diseños adheridos al telar de poliéster son cortados a la



medida. La cortadora laser está acompañada de un extractor de humos que funciona en conjunto a la cortadora, y por último, las prendas ya cortadas son enviadas a un proceso de costura donde se confecciona la prenda. Los resultados de las mediciones físicas de los equipos mostraron una correcta relación con el inventario de equipo y sus capacidades nominales. El equipo que tuvo el mayor consumo energético fue la sublimadora, posteriormente las impresoras industriales, después la cortadora laser con sus extractores, y, por último, el área de costura.

4.2.11. *Análisis del consumo eléctrico y del proceso*

Las limitaciones en la administración de inventarios y control de la producción para cuantificar los inventarios máximos por etapa del proceso productivo de piezas textiles afectaron la implementación de herramientas de mejora continua. El control de inventarios se lleva a cabo de manera visual y con base a la experiencia de la persona responsable de la administración de la producción. Adicional a esto, la falta de un sistema veraz y preciso para la cuantificación de las piezas o unidades producidas dificultad generar este indicador de desempeño del proceso. Por este motivo, el uso del mapa de flujo de valor energético para la representación visual de los consumos y actividades donde se generará el mayor desperdicio, así como la determinación del consumo energético por pieza o unidad de medida (KPI) no se pudieron realizar. Por lo tanto, estas herramientas no resultan útiles en organizaciones con sistemas de información limitados.

Los resultados obtenidos con las mediciones realizadas con el analizador de potencia mostraron rápidamente sin necesidad de un análisis profundo o el empleo de alguna herramienta de mejora continua el principal problema. El análisis mostro que existe un desbalanceo en las fases del tablero de carga principal, en el cual predomina una mayor carga en la fase A. Asimismo, el factor de potencia durante el horario de operación del proceso

productiva es inferior al mostrado en las facturas expedidas por la empresa pública que provee energía eléctrica.

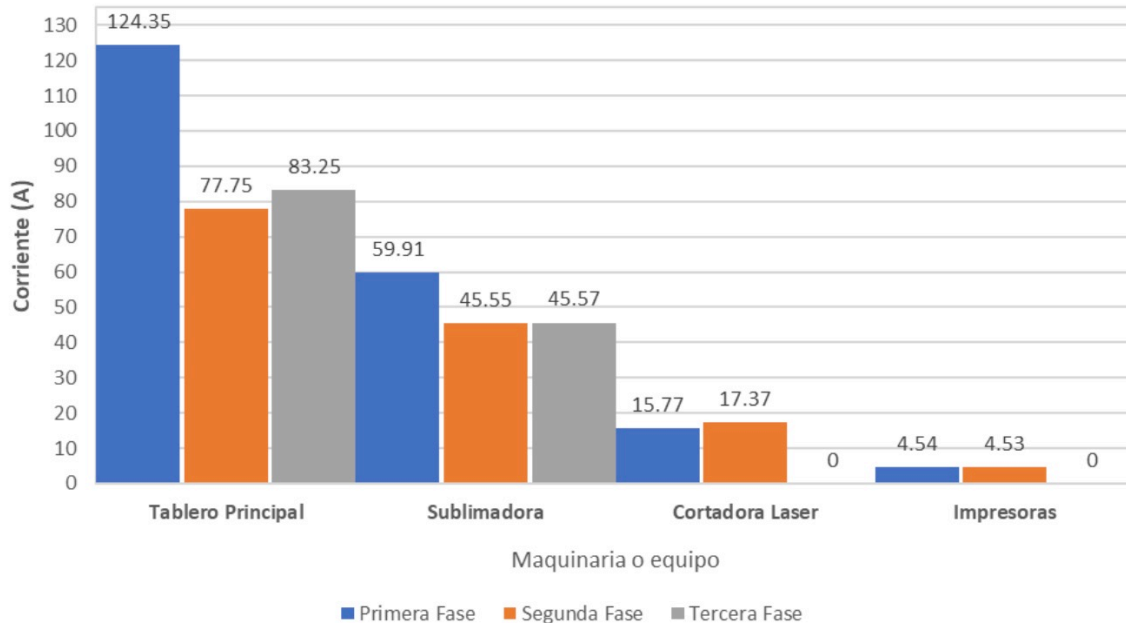


Figura 14. Desbalanceo en fases de tablero.

Al analizar el consumo energético y funcionamiento de los equipos se identificó que la sublimadora, la cual es el equipo con el mayor consumo energético dentro del proceso productivo funciona con doce resistencias, las cuales alcanzan una temperatura programada y se apaga, se vuelve a encender cuando la temperatura está por debajo de la temperatura requerida. Un análisis más detallado mostró que este equipo en cuestión de segundos se enciende y apaga constantemente de manera continua mientras esté en funcionamiento. Este comportamiento coincide con los incrementos y decrementos considerables de corriente y potencia en un intervalo de segundos registrados por las mediciones hechas al tablero de carga principal y a la sublimadora. Este equipo está programado y diseñado para operar a 220°C fijos con el fin de que la tela de poliéster no sufra decoloraciones, quemaduras o alteración de la textura de la tela. Por su ubicación está expuesto corrientes de aire que tienen contacto directo con el equipo lo que genera caídas de temperatura en las resistencias. Esta condición provoca

que el equipo encienda y apague de forma continua. Este comportamiento es el responsable de la caída de tensión por el incremento de la corriente, que, a su vez, ha generado cortes de energía en ciertas secciones de la nave industrial.

Identificación de las principales causas que afectan el funcionamiento de la sublimadora:

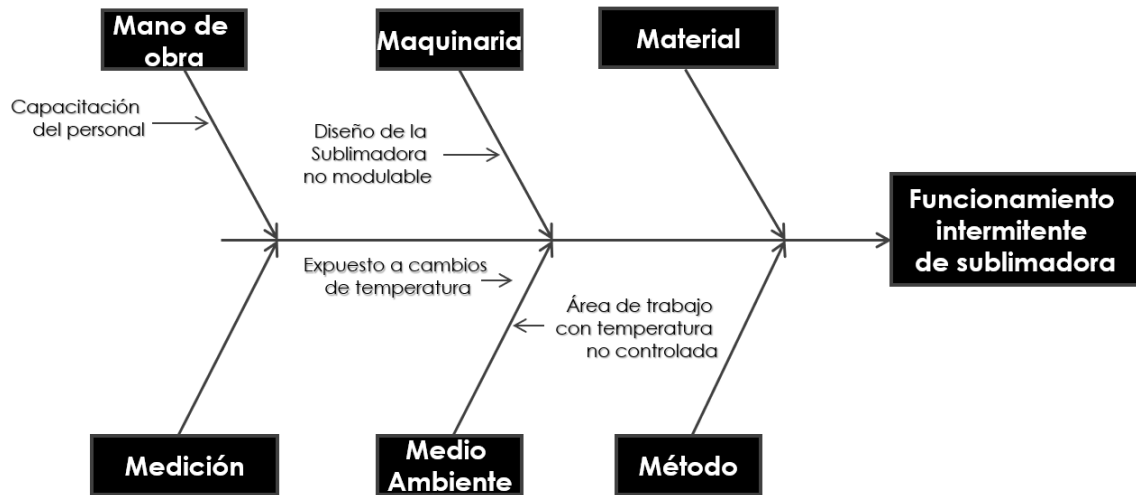


Figura 15. Identificación de causa raíz.

Una vez determinado que la principal causa que afecta el funcionamiento del equipo es el medio ambiente, se procedió al análisis de la causa para determinar cuál es la razón de que el equipo se encuentre expuesto a cambios de temperatura. Para esto, se utilizó la herramienta de los cinco ¿Por qué?, en la figura 12 se muestra el análisis hecho:



1. ¿Por qué es intermitente el funcionamiento de la sublimadora?
 - Porque el equipo se apaga y enciende constantemente.
2. ¿Por qué el equipo se apaga y enciende constantemente?
 - Porque la temperatura de funcionamiento del equipo no es continua.
3. ¿Por qué la temperatura de funcionamiento del equipo no es continua?
 - Porque el equipo está expuesta a cambios de aire constantemente.
4. ¿Por qué está expuesto a cambios de aire constantemente?
 - Porque la sublimadora se encuentra cerca de la cortina de envíos (área de trabajo con temperatura no controlada).
5. ¿Por qué la sublimadora se encuentra cerca de la cortina de envíos?
 - Porque la reubicaron sin considerar sus características de funcionamiento o contar con algún procedimiento para reubicación de equipos, el cual no afecte su funcionamiento.

Figura 16. Análisis de causa raíz con uso de cinco ¿Por qué?

Se determinó que la razón de la ubicación del equipo en un lugar donde los cambios de temperatura son constantes por la exposición a flujos de aire es debido a la falta de un procedimiento que analice la reubicación del equipo considerando sus características de funcionamiento. Las reubicaciones de maquinaria se realizan considerando únicamente el flujo del proceso productivo, con el fin de eficientizarlo, no obstante, factores como el funcionamiento del equipo son omitidos.

Además, los resultados de las mediciones del tablero de carga principal permitieron identificar un área de oportunidad significativo con el alumbrado empleado en la organización. El alumbrado de la organización se caracteriza por ser en un 95% aun de lámparas fluorescentes y halogenuros metálicas, a pesar de que estudios muestran que una lampara led pueden ahorrar hasta el 48% en el consumo energético ofreciendo la misma intensidad lumínica [74].

4.2.12. Propuestas e implementación de acciones correctivas

Las acciones correctivas propuestas deben de ser acorde al capital y disposición con el cual cuenta la empresa. Las acciones correctivas deben de enfocarse el proceso de producción, sin perder de vista la infraestructura y equipos de servicio que la organización utiliza en su día



a día que pueden generar ahorros considerables, en caso de que el análisis e identificación de equipos con desperdicio así lo muestre.

En el caso de estudio objeto de esta investigación se propuso el cambio de lámparas fluorescentes convencionales a lámparas led ya que estas presentan una mayor eficiencia y los luxes otorgados son suficientes para las áreas de operación. La implementación de lámparas led en toda la organización además de tener un impacto económico, tiene un impacto ambiental positivo. La empresa actualmente cuenta con 58 luminarias fluorescentes, con una potencia eléctrica de 32 Watts y 2700 lumens, sin embargo, en el mercado hay lámparas Led que ofrecen los mismo lumens por una potencia eléctrica de 18 Watts inclusive. Se considera que la empresa labora 11 horas diarias durante 260 días al año, dando como resultado 5,308.16 Kw/año por el uso de las luminarias.

El luminario propuesto para el reemplazo es luminario lineal tipo barrina LED a prueba de vapores con una potencia de 20W, flujo luminoso de 2,160 lm, Temperatura de color de 6,500°K / Luz de día, Grado IP65, con un costo de \$450 mn/unidad. Por lo tanto, el remplazo de las 58 luminarias tendría un costo de \$26,100 mn El precio del Kw/h para la tarifa contratada por la empresa (gran demanda en media tensión ordinaria) es de \$0.726 kw/h en moneda nacional. El cambio de luminarios implica una reducción de 14 Watts por cada unidad, por lo tanto, considerando las mismas horas y días de operación resulta que 58 lamparás de 18 Watts el ahorro en Kw/año es de 2,322.32 kw/año. En términos económicos, el ahorro anual sería de \$1,686 mn con una recuperación de la inversión de 16 años. En términos ambientales se genera un decremento de 2,985.84 kw/h y las toneladas de CO₂e por la generación de esa energía eléctrica disminuyen de 1,356.76 CO₂e hasta 847.97 CO₂e.

La modificación de la sublimadora para cambiar el funcionamiento de las resistencias no es posible al no ser un equipo modular. Por ello, solo quedaron las opciones de reubicarla o



proteger al equipo sublimador de las corrientes de aire mediante la instalación de mamparas de panel de yeso. La primera opción resulta con mayor costo al tener que reubicar el extractor de calor y la alimentación de energía, entre otros aspectos. La instalación de paneles de yeso tiene un costo menor, estimado en \$6000 pesos (MXP) por 20 metros cuadrados de construcción (\$300 MXP/m²), por lo que quedó para análisis por parte del propietario de la empresa.

Se hace la aclaración que la implementación de las acciones correctivas propuestas a la alta dirección de la organización está sujetas a la disponibilidad de recursos de la empresa como se mencionó anteriormente. La empresa está contemplando en primera instancia el cambio de lámparas fluorescentes a led al ser una inversión moderada y con un impacto efectivo instantáneo. Por otra parte, la reubicación a un ambiente controlado de la sublimadora queda fuera de las posibilidades económicas de la empresa por el momento.

4.2.13. Comparativa de los resultados

Se hizo la aclaración de que la implementación de las acciones correctivas está sujetas a la disponibilidad de recursos de la empresa. Al concluir el periodo de este estudio solo existía un cambio parcial de luminarias y el tiempo de ejecución del proyecto en total escapa al tiempo de este estudio. Por tal motivo, las mediciones físicas para realizar una comparativa y evaluar la efectividad de las acciones quedaron fuera del alcance de este estudio.

Sin embargo, se puede decir que en este paso las acciones implementadas son el resultado de un análisis exhaustivo de las causas raíz, no obstante, deben estar sujetas a mediciones físicas para validar que los resultados deseados sean los alcanzados. Las mediciones para validar efectividad de las acciones son una parte vital del modelo de gestión de la energía eléctrica propuesto ya que corroboran los resultados esperados determinados en el análisis. Las mediciones deben realizarse de la misma forma que se realizaron inicialmente



en la etapa de "Mediciones físicas para validar los consumos de los equipos y Mediciones iniciales en tableros de carga principal" para recrear condiciones similares al momento de validar las acciones implementadas.

Dentro de los factores a considerar para esta recreación del escenario para la toma de mediciones se debe de considerar el funcionamiento de la maquinaria y equipo para evitar sesgos por la no operación de equipos de alta demanda de energía que fueron considerados en las mediciones iniciales de tableros de carga principales o durante la medición de consumo de equipos que forman parte de un proceso a evaluar. En caso de no ser posible, lo recomendable es dialogarlo con el responsable o administrador de la producción para buscar las condiciones de operación con la mayor similitud de las mediciones iniciales. Además, el uso de equipo de mediciones de preferencia debe de ser el mismo. No obstante, por motivos de envejecimiento de los equipos o la falta de certeza sobre la calibración del equipo de medición empleado; el equipo empleado debe de contar con los parámetros y rangos equivalente al analizador de potencia utilizado inicialmente, así como, tener un porcentaje de incertidumbre igual o menor para que sean representativas y confiables las mediciones llevadas a cabo.

El proceso debe de ser monitoreado constantemente para verificar que la efectividad de las acciones se mantenga dentro de los parámetros deseados. En caso de detectar alguna anomalía, es necesario que se repita el proceso desde la etapa de identificación y análisis de causas raíz para poder corregirlo. La cuantificación de los resultados de las acciones implementadas debe ser analizada para poder determinar el beneficio obtenido. Dichas comparaciones son requeridas para incentivar a la organización en nuevos proyectos de mejora de procesos de eficiencia energética.

5. CONCLUSIONES

La implementación de un modelo para la gestión de la energía favorece al incremento de la competitividad en las organizaciones, en particular a las pequeñas y medianas empresas. Sin embargo, la falta de documentación e información veraz representa un gran riesgo y área de oportunidad para tener la certeza de la efectividad del modelo para la gestión de la energía eléctrica. La implementación del modelo hasta la etapa de propuestas de acciones correctivas fue posible debido al apoyo brindado por la alta dirección a pesar de los obstáculos presentados por el aun en desarrollo de los sistemas de información de la organización.

La implementación del modelo demuestra que cualquier persona con conocimientos básicos sobre herramientas de mejora continua, así como con el correcto entrenamiento en equipos de medición de energía eléctrica son capaces de desplegar este modelo para el mejoramiento de la eficiencia eléctrica de la organización independientemente de su formación o puesto laboral. Es importante mencionar que el tipo de herramienta de control de calidad o manufactura esbelta esta sujeta a las características y desarrollo de cada organización, por lo que resulta inviable hablar de un conjunto de herramientas siempre aplicables a cualquier organización, sin embargo, se proponen un conjunto de herramientas que se considera son las que tienen la mejor posibilidad de adecuarse de manera inicial a cualquier organización.

Esta investigación enfocada a la implementación de un modelo para la gestión de la energía eléctrica en una empresa textil categorizada como pequeña demuestra que con el uso de herramientas de mejora continua es posible identificar áreas de oportunidad a pesar de que



los sistemas de información o administración de la producción no sean lo suficientemente robustos. Podemos concluir que la aplicación de un modelo para la gestión de la energía eléctrica resulta esencial para la determinación del aumento factible dentro de una instalación industrial. No obstante, el apoyo por parte de la alta dirección es necesaria para poder desarrollar las etapas iniciales hasta la implementación de acciones correctivas.

- [1] International Energy Agency, Ed., *World energy outlook 2009*. en World Energy Outlook, no. 2009. Paris, 2009.
- [2] Balcells Josep *et al.*, *Eficiencia en el uso de la energía eléctrica*. 2021. Consultado: el 19 de septiembre de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://uane.bibliotecasdigitales.com/read/9786076227886/index>
- [3] “International Energy Outlook 2019”, U.S. Energy Information Administration, Washington, DC, sep. 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/ieo2019.pdf>
- [4] “International Energy Outlook 2007”, Energy Information Administration, Washington DC, may 2007. [En línea]. Disponible en: <http://www.env-edu.gr/Documents/International%20Energy%20Outlook%202007.pdf>
- [5] O. N. Castillo, A. L. V. Santibáñez, y M. A. G. Meza, “Consumo de energía, empleo y producción manufacturera en México”, p. 30.
- [6] A. Montoya, G. Nuñez, F. Rodríguez, S. Barrera, M. Guerrero, y A. Estrella, “Balance Nacional de Energía 2018”, Subsecretaría de Planeación y Transición Energética, 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/528054/Balance_Nacional_de_Energ_a_2018.pdf
- [7] “Evaluación Rápida del Uso de la Energía”, Energy Sector Management Assistance Program, Tijuana, Baja California, 2016. [En línea]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/171272/30__Tijuana.pdf
- [8] “SENER | Sistema de Información Energética”. Consultado: el 19 de septiembre de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas>
- [9] J. Martínez Cuero y J. Martínez Cuero, “El impacto de las empresas transnacionales en las condiciones de vida de la población en Tijuana (México)”, *Rev. El Col. San Luis*, vol. 9, núm. 19, pp. 61–89, ago. 2019, doi: 10.21696/rcsl9192019946.
- [10] I. N. de E. y Geografía (INEGI), “Directorio Nacional de Unidades Económicas. DENUÉ”, Censos Económicos 2014. Consultado: el 19 de septiembre de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denu/default.aspx>
- [11] S. Olayinka y A. T. Oladele, “Energy Audit of Manufacturing and Processing Industries in Nigeria: A Case Study of Food Processing Industry and Distillation & Bottling Company”. 2013.
- [12] K. Caballero Güendolain y L. M. Galindo Paliza, “El consumo de energía en México y sus efectos en el producto y los precios”, *Probl. Desarro.*, vol. 38, núm. 148, pp. 127–152, mar. 2007.



- [13] J. M. E. V. Serrano, A. K. Cruz, y G. N. Rodríguez, "Industria eléctrica y su relevancia en la estructura productiva de México", *Econ. Soc. Territ.*, vol. XVIII, núm. 58, pp. 825–851.
- [14] F. A. D. Assad y E. P. Solorio, "Importancia de la energía para el crecimiento económico de México The importance of energy for economic growth in Mexico", p. 15, 2014.
- [15] M. F. Coba Salcedo, "Evaluación Energetica y Propuesta de Mejoras Tecnologicas en un Secadero de Ladrillos", *Sci. Tech.*, vol. 22, núm. 1, p. 34, mar. 2017, doi: 10.22517/23447214.14271.
- [16] G. Carrillo-Rojas, J. Andrade-Rodas, A. Barragán-Escandón, y A. Astudillo-Alemán, "Impacto de programas de eficiencia energética eléctrica, estudio de caso: Empresas alimentarias en Cuenca, Ecuador", *Dyna*, vol. 81, núm. 184, pp. 41–48, 2014.
- [17] M.-J. Li y W.-Q. Tao, "Review of methodologies and polices for evaluation of energy efficiency in high energy-consuming industry", *Appl. Energy*, vol. 187, pp. 203–215, feb. 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.11.039.
- [18] X. Wen, H. Cao, B. Hon, E. Chen, y H. Li, "Energy value mapping: A novel lean method to integrate energy efficiency into production management", *Energy*, vol. 217, p. 119353, feb. 2021, doi: 10.1016/j.energy.2020.119353.
- [19] S. Baysan, O. Kabadurmus, E. Cevikcan, S. I. Satoglu, y M. B. Durmusoglu, "A simulation-based methodology for the analysis of the effect of lean tools on energy efficiency: An application in power distribution industry", *J. Clean. Prod.*, vol. 211, pp. 895–908, feb. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.11.217.
- [20] R. Menghi, A. Papetti, M. Germani, y M. Marconi, "Energy efficiency of manufacturing systems: A review of energy assessment methods and tools", *J. Clean. Prod.*, vol. 240, p. 118276, dic. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118276.
- [21] I. N. de E. y Geografía (INEGI), "Directorio Nacional de Unidades Económicas. DENUÉ", Censos Económicos 2014. Consultado: el 19 de septiembre de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denué/default.aspx>
- [22] J. M. González Santaló, "Tecnologías actuales y del futuro próximo en México para la generación de electricidad a partir de combustibles fósiles", *Rev. Mex. Física*, vol. 45, núm. 5 (OCT), pp. 523–531, 1999.
- [23] L. de J. Ramos-Gutiérrez y M. Montenegro-Fragoso, "La generación de energía eléctrica en México", *Tecnol. Cienc. Agua*, vol. 3, núm. 4, pp. 197–211, dic. 2012.
- [24] C. Torres Navarro, M. Salette Waltrick, y C. Flores Canales, "Metodología para el seguimiento, medición y análisis energético de una planta manufacturera", *Ing. Energética*, vol. 38, núm. 2, pp. 97–105, ago. 2017.
- [25] M. Pacheco-Florez y Y. E. Melo-Poveda, "Recursos naturales y energía. Antecedentes históricos y su papel en la evolución de la sociedad y la teoría económica", *Energética*, núm. 45, pp. 107–115, 2015.



- [26] L. A. White, "Energy and the evolution of culture", *Am. Anthropol.*, vol. 45, núm. 3, pp. 335–356, jul. 1943, doi: 10.1525/aa.1943.45.3.02a00010.
- [27] G. Gil, *La Energía En Cifras Perspectivas Globales*. Alfaomega Marcombo, 2014.
- [28] M. Poveda, "Eficiencia Energética: Recurso No Aprovechado", Organización Latinoamericana de Energía, ago. 2007.
- [29] P. L. Llamas, "EFICIENCIA ENERGÉTICA Y MEDIO AMBIENTE", p. 18, 1990.
- [30] U. Nations, "El Objetivo de Desarrollo Sostenible 7 y el desarrollo energético sostenible en américa latina y el caribe | Naciones Unidas", United Nations. Consultado: el 7 de noviembre de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/es/chronicle/article/el-objetivo-de-desarrollo-sostenible-7-y-el-desarrollo-energetico-sostenible-en-america-latina-y-el>
- [31] "Intensidad de consumo energético del PNB | Datos de intensidad de consumo energético global | Enerdata". Consultado: el 7 de noviembre de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://datos.enerdata.net/energia-total/intensidad-energetica-pib-datos.html>
- [32] "México | SIODS | Sistema de Información de los Objetivos de Desarrollo Sostenible". Consultado: el 7 de noviembre de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://agenda2030.mx/ODSind.html?ind=ODS007000700010&cveind=455&cveCob=99&lang=es#/Indicator>
- [33] "Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética", p. 16.
- [34] *Agenda 21: desarrollo sostenible: un programa para la acción*. Fondo Editorial PUCP, 1998.
- [35] "ISO 50001:2011(es), Sistemas de gestión de la energía — Requisitos con orientación para su uso". Consultado: el 19 de septiembre de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:50001:ed-1:v1:es>
- [36] G. Dall'O', S. Ferrari, E. Bruni, y L. Bramonti, "Effective implementation of ISO 50001: A case study on energy management for heating load reduction for a social building stock in Northern Italy", *Energy Build.*, vol. 219, p. 110029, jul. 2020, doi: 10.1016/j.enbuild.2020.110029.
- [37] "Avella et al. - El MGIE, un modelo de gestión energética para el s.pdf". Consultado: el 19 de septiembre de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/478/47803003.pdf>
- [38] N. R. Canada, "Energy efficiency for industry". Consultado: el 31 de octubre de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.nrcan.gc.ca/energy-efficiency/energy-efficiency-industry/20334>
- [39] Canada y Natural Resources Canada, *Guidelines for energy management*. 2019. Consultado: el 31 de octubre de 2021. [En línea]. Disponible en: http://epe.lac-bac.gc.ca/100/201/301/weekly_acquisitions_list-ef/2019/19-13/publications.gc.ca/collections/collection_2019/rncan-nrcan/M144-288-2018-eng.pdf



- [40] L. G. Ibarra, *El aprovechamiento sustentable de la energía en la administración pública federal mexicana: un ejemplo de sobrerregulación*. Universidad Nacional Autónoma de México, 2013.
- [41] “Programa Nacional para Sistemas de Gestión de la Energía 2018”, Comisión Nacional Para El Uso Eficiente de la Energía, jul. 2018. Consultado: el 30 de octubre de 2021. [En línea]. Disponible en: <http://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/programa-nacional-para-sistemas-de-gestion-de-la-energia-2018?state=published>
- [42] “El Sistema de Gestión de la Energía”, Comisión Nacional Para El Uso Eficiente de la Energía, jul. 2018. Consultado: el 30 de octubre de 2021. [En línea]. Disponible en: <http://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/el-sistema-de-gestion-de-la-energia>
- [43] Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, *Manual para la implementación de un sistema de gestión de la energía.*, Segunda. Mexico, D.F., 2016. [En línea]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/223430/ManualGestionEnergia_2016.pdf
- [44] F. A. T. Hernández, “Integración del Enfoque Ambiental a la Metodología Lean Six Sigma Caso Específico: Reducción del Consumo de Energía Eléctrica”, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Atizapán de Zaragoza, Estado de México, 2010. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/569684/DocsTec_10479.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [45] S. Kundgol, P. Petkar, y V. N. Gaitonde, “Implementation of value stream mapping (VSM) upgrading process and productivity in aerospace manufacturing industry”, *Mater. Today Proc.*, vol. 46, pp. 4640–4646, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.10.282.
- [46] C. A. Riesenberger y S. D. Sousa, “The 8D Methodology: An Effective Way to Reduce Recurrence of Customer Complaints?”, p. 6, 2010.
- [47] J. G. Izaguirre Neira y M. del R. Párraga Velásquez, “Aplicación de las metodologías 8D y AMFE para reducir fallos en una fábrica de refrigeradoras”, *Ind. Data*, vol. 20, núm. 2, Art. núm. 2, dic. 2017, doi: 10.15381/idata.v20i2.13954.
- [48] E. Stubbs, “Indicadores de desempeño: naturaleza, utilidad y construcción”, *Ciênc. Informação*, vol. 33, abr. 2004, doi: 10.1590/S0100-19652004000100018.
- [49] J. Bruusgard, “Performance Measurement in Public and Special Libraries - Similarities and Differences - 61st IFLA General Conference”. Consultado: el 19 de septiembre de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://origin-archive.ifla.org/IV/ifla61/61-bruj.htm>
- [50] C. Schmidt, C. Hermann, W. Li, S. Thiede, B. Kornfeld, y S. Kara, “Implementing Key Performance Indicators for Energy Efficiency in Manufacturing - ScienceDirect”. Consultado: el 26 de septiembre de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116312914>



- [51] K. Ishikawa, *Introducción al control de calidad*. Ed. Díaz de Santos, 1994.
- [52] F. de J. G. González, “Herramientas De Calidad Y El Trabajo En Equipo Para Disminuir La Reprobación Escolar”, *Concienc. Tecnológica*, núm. 48, pp. 17–24, 2014.
- [53] A. Suárez Alfonso, I. Cruz Rodríguez, y Y. Pérez Macías, “La gestión de la información: Herramienta esencial para el desarrollo de habilidades en la comunidad estudiantil universitaria”, *Rev. Univ. Soc.*, vol. 7, núm. 2, pp. 72–79, ago. 2015.
- [54] F. Caicedo y J. César, “La Gestión del conocimiento y las herramientas colaborativas: una alternativa de aplicación en Instituciones de educación superior”, *Rev. Investig.*, vol. 34, núm. 71, pp. 11–31, dic. 2010.
- [55] R. A. M. Rodríguez, “Referencia Virtual: un enfoque desde las dimensiones asociadas a la gestión de información”, *Cienc. Inf.*, vol. 39, núm. 2, pp. 59–68, 2008.
- [56] C. Navarro y P. D. L. Ceballos, “Conceptos básicos sobre hojas de cálculo”, p. 4.
- [57] J. Kalman y V. Rendón, “Uso de la hoja de cálculo para analizar datos cualitativos”, *Magis Rev. Int. Investig. En Educ.*, vol. 9, núm. 18, pp. 29–48, 2016.
- [58] J. P. De la Guerra, “Las siete herramientas de la calidad”. UDEA-Institucional, 2015.
- [59] R. Menghi, A. Papetti, M. Germani, y M. Marconi, “Energy efficiency of manufacturing systems: A review of energy assessment methods and tools”, *J. Clean. Prod.*, vol. 240, p. 118276, dic. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118276.
- [60] V. Gogula, H.-D. Wan, y G. Kuriger, “Impact of Lean Tools on energy consumption”, *Sist. Telemática*, vol. 9, núm. 19, p. 33, dic. 2011, doi: 10.18046/syt.v9i19.1093.
- [61] R. Milward, C. Gillies, y G. Wickes, “Lean, Energy, and Savings: Energy Impacts of Lean Manufacturing”, p. 13.
- [62] R. Rathi, M. S. Kaswan, J. A. Garza-Reyes, J. Antony, y J. Cross, “Green Lean Six Sigma for improving manufacturing sustainability: Framework development and validation”, *J. Clean. Prod.*, vol. 345, p. 131130, abr. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.131130.
- [63] M. Sánchez Díaz, “Breve inventario de los modelos para la gestión del conocimiento en las organizaciones”, *ACIMED*, vol. 13, núm. 6, pp. 0–0, dic. 2005.
- [64] G. Guiñazú, “Capacitación efectiva en la empresa”, *Invenio*, vol. 7, núm. 12, pp. 103–116, 2004.
- [65] M. J. Vidal Ledo y A. B. Araña Pérez, “Gestión de la información y el conocimiento”, *Educ. Médica Super.*, vol. 26, núm. 3, pp. 474–484, sep. 2012.
- [66] L. Gutierrez, M. Botero Arbeláez, y J. Vargas, “Importancia de la metrología al interior de las empresas para el aseguramiento de la calidad”, *Sci. Tech.*, vol. 1, jun. 2008.



- [67] L. V. Socconini y J. P. Martín, *Lean Energy 4.0: Guía de implementación*. Marge Books, 2019.
- [68] Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, *Medición y registro de la energía en las pequeñas y medianas empresas.*, vol. 1.4. Ciudad de México, México, 2009.
- [69] C. Keskin, U. Asan, y G. Kayakutlu, “Value Stream Maps for Industrial Energy Efficiency”, en *Assessment and Simulation Tools for Sustainable Energy Systems: Theory and Applications*, F. Cavallaro, Ed., en *Green Energy and Technology*. , London: Springer, 2013, pp. 357–379. doi: 10.1007/978-1-4471-5143-2_17.
- [70] M. Oubrich, A. Hakmaoui, L. Benhayoun, K. Solberg Söilen, y B. Abdulkader, “Impacts of leadership style, organizational design and HRM practices on knowledge hiding: The indirect roles of organizational justice and competitive work environment”, *J. Bus. Res.*, vol. 137, pp. 488–499, dic. 2021, doi: 10.1016/j.jbusres.2021.08.045.
- [71] R. Milward, C. Gilless, y G. Wickes, “Lean, Energy, and Savings: Energy Impacts of Lean Manufacturing”, p. 13.
- [72] P. L. Lemos, *Herramientas para la mejora de la Calidad*. FEMETAL, 2016.
- [73] B. L. Hansen y P. M. Ghare, *Control de calidad: teoría y aplicaciones*. Ediciones Díaz de Santos, 1989.
- [74] A. Serrano-Tierz, A. Martínez Iturbe, Ó. Guarddon Muñoz, y J. L. Santolaya Sáenz, “Análisis de ahorro energético en iluminación LED industrial: Un estudio de caso”, *DYNA*, vol. 82, núm. 191, pp. 231–239, jun. 2015, doi: 10.15446/dyna.v82n191.45442.