

**Propuesta de Optimización del Consumo Energético Para el Sector Textil, Basado
en Una Empresa de Producción Textil en Colombia.**

Rubén Darío Canastero Ríos

Dirección de Posgrados, Universidad ECCI de Bogotá

Especialización en Gerencia de Operaciones

Miguel Ángel Urián

30 de agosto de 2021

Dedicatoria

El presente proyecto tuvo lugar gracias al impulso que el señor mi Dios y su misericordia me han regalado al querer mejorar mi nivel educativo y en medio de este duro momento por el que atraviesa el mundo, por esta razón dedico este proyecto a mi familia, quienes la conforman mis hijos y mi esposa Ingrid, que me apoyaron con su paciencia, comprensión y compañía en todo momento, momentos buenos y alegres de la carrera y de la especialización, momentos duros de trabajo y estudio, aquellas jornadas que parecían extensas se hicieron más llevaderas porque Dios los puso a mi lado en este proceso, a Dios y ellos se dedica este proyecto de especialización.

Introducción

El siguiente proyecto tiene como fin el desarrollo de una propuesta para optimización del consumo energético en el sector textil en Colombia, nace de la necesidad existente en la industria manufacturera colombiana referente a la disminución del gasto energético, entendiendo este gasto como uno de los rubros más fuertes de su actividad diaria, con su desarrollo se pretende brindar una serie de opciones de mejora para las empresas del sector textil que les permita generar aumentos de la eficiencia energética en sus procesos productivos.

El presente proyecto también busca ser de ayuda como documento referente a futuras investigaciones en el sector de consumo energético del país para facilitar la toma de decisiones a estudiantes y profesionales que buscan mejorar de forma óptima los indicadores de desempeño energético, la metodología empleada en proyecto inicia con una caracterización del proceso productivo, con esta caracterización se evidenció que el sector textil tiene una gran variedad de procesos que generan un alto consumo energético, posteriormente se procedió a levantar la carga energética de cada proceso y se realizó el Pareto de priorización de cada uno, basado en la metodología propuesta por la NTC ISO 50001, se procedió a levantar la ecuación de la línea de base energética y con esta ecuación quedó demostrado que en los procesos de producción textil existen factores de carga de consumos estáticos que generan índices altos de gasto de energía con valores mínimos de productividad.

Posteriormente se desarrollan las propuestas de optimización basado en análisis de sensibilidad como son los informes de calidad de energía y la línea de base energética, con estos resultados se procedió a realizar el DOFA del sector textil para el uso energético.

Por último, se realizaron valoraciones a las propuestas generadas y se demostró su viabilidad con el análisis financiero generando el punto de retorno o ROI del proyecto en cada caso.

En el desarrollo del proyecto se reflejaron algunas restricciones que impidieron una mayor ampliación de las mejoras y sus propuestas, estas limitaciones se evidenciaron en capítulos como la evaluación de la calidad de la energía por la dificultad de acceso a la información, por esta razón se tomó este capítulo basado en un estudio de calidad energética de una industria común del sector industrial, también es importante aclarar que para obtener una propuesta de optimización de mayor aporte al sector se deberá ampliar el estudio a más empresas del sector textil, esto ayudará a la ampliación de los resultados.

Dentro de la estructura del proyecto podemos encontrar que en los capítulos del 1 al 4 se da forma a la propuesta del proyecto de optimización energética, esta propuesta inicia con la formulación del problema en estudio y la sistematización que dio lugar al planteamiento de hipótesis a resolver durante el mismo, en el capítulo 3 se plantearon los objetivos para resolver estas hipótesis y finalmente en el capítulo 4 se muestran la justificación y delimitación del proyecto en optimización energética.

En el capítulo 5 se desarrolla el marco teórico del proyecto, donde se ubica la investigación dentro de los repositorios ya generados por anteriores estudiantes, también podemos encontrar el marco teórico y el marco metodológico, los cuales son claves para ver el proyecto desde la teoría de la especialización de operaciones y el aporte de la misma al estudio de caso, con el diseño de la metodología trazamos el punto de partida de la investigación en temas de aporte educativo y conceptual, también muestra al proyecto desde el ámbito legal y normativo existente en Colombia.

Para el capítulo 6, su estructura la conforman actividades como la recolección de la información que sirven de base para el análisis del proyecto y la situación actual, al desarrollar la metodología de verificación de variables y el análisis de información se procede a comprobar las hipótesis establecidas en el capítulo 2, con estas hipótesis comprobadas se puede generar la propuesta de solución y su análisis en el numeral 6, posteriormente y con la evaluación de las propuestas se genera el capítulo 7 de valoración de impactos alcanzados y esperados, este capítulo muestra si el proyecto logro arrojar los resultados esperados, y si existen algún tema que necesite cierto tratamiento diferente, este aspecto se relata en la discusión del capítulo 7, para culminar el proyecto en el capítulo 8 se desarrolló el análisis financiero en donde se evalúan las propuestas según el retorno de inversión de cada una, se genera el punto de equilibrio del ROI estimado en cada propuesta para finalmente dar las conclusiones y recomendaciones en el capítulo 9.

Resumen

En este resumen se describen los resultados alcanzados en el proyecto de investigación para optar al título de especialista en gerencia de operaciones, el proyecto enfocado en la búsqueda de una propuesta de optimización energética para el sector textil, basó su metodología en el diagnóstico de información de los procesos existentes en una empresa promedio del sector, en el manejo de sus diferentes recursos de maquinaria y su comportamiento en el uso de la energía eléctrica, esto con el fin de buscar problemáticas generadas en el sector por las malas prácticas en el uso eficiente de este recurso, posteriormente se desarrolló la propuesta de eficiencia energética, este proyecto se desarrolló en los procesos de tejeduría y de áreas de preparación y acabados de la tela, en las tecnologías de tejido tipo Tricot, Circular y Plano.

El método desarrollado basó su primer acercamiento a los procesos productivos del sector y su posterior caracterización, luego se desarrolló una estimación inicial de carga eléctrica de los procesos buscando realizar el Pareto de consumo energético del sector, con este diagnóstico inicial se procedió a analizar los indicadores de calidad energética y su importancia en la industria productiva, estos indicadores ampliaron la visión a una metodología propuesta por la norma NTC ISO 50001 para el desarrollo de la ecuación de medición del consumo, con este desarrollo, se generó la ecuación de la línea de base energética y se pudieron evidenciar los consumos estáticos asociados a factores no relacionados con la carga productiva, lo que supuso la existencia de pérdidas desconocidas asociadas a temas de iluminación, pérdidas por escapes de aire comprimido e inestabilidad por cargas y paradas de maquinaria que en ocasiones se deben a ineficiencias de sus motores, como conclusión al presente proyecto se logró generar las propuestas de implementación metodológica para ofrecer una mayor eficiencia energética en el

sector, estas propuestas deben ser implementadas bajo el diagnóstico de cada empresa según su particularidad y su estado actual.

Palabras Claves --- Acabado textil, Aire comprimido, Calidad de energía, Carga eléctrica, Eficiencia energética, Energía eléctrica, Energía térmica, Iluminación, Motores de alta eficiencia, Optimización, Potencia, Tejeduría textil, Textil, Kilovatios.

Abstract

This abstract describes the results achieved in the research project to qualify for the title of specialist in operations management, the project focused on the search for an energy optimization proposal for the textile sector, based its methodology on the diagnosis of information of existing processes in an average company in the sector, based its methodology on the diagnosis of the existing processes in an average company of the sector, in the management of its different machinery resources and its behavior in the use of electrical energy, this in order to search for problems generated in the sector by bad practices in the efficient use of this resource, then the energy efficiency proposal was developed, this project was developed in the weaving processes and areas of preparation and finishing of the fabric, in the technologies of Tricot, Circular and Flat weaving type.

The method developed based its first approach to the productive processes of the sector and its subsequent characterization, then an initial estimate of the electrical load of the processes was developed seeking to perform the Pareto of energy consumption of the sector, with this initial diagnosis we proceeded to analyze the energy quality indicators and their importance in the productive industry, these indicators expanded the vision to a methodology proposed by the NTC ISO 50001 standard for the development of the consumption measurement equation, with this development, the energy baseline equation was generated and the static consumption associated to factors not related to the productive load could be evidenced, which implied the existence of unknown losses associated to lighting issues, losses due to compressed air leaks and inefficiency due to loads and machinery stoppages that sometimes are due to inefficiencies of their engines, As a conclusion to this project, it was possible to generate proposals for

methodological implementation to achieve greater energy efficiency in the sector, these proposals should be implemented under the diagnosis of each company according to its particularity and its current state.

Keywords --- Textile finishing, Compressed air, Energy quality, Electrical load, Energy efficiency, Electrical energy, Thermal energy, Lighting, High efficiency motors, Optimization, Power, Textile weaving, Textile, Kilowatts.

Tabla de contenido

1	Título de la Investigación	17
2	Problema de Investigación.....	17
2.1	Descripción del problema.....	17
2.2	Planteamiento del problema	18
2.3	Sistematización del problema.....	18
3	Objetivos de la investigación.....	19
3.1	Objetivo general	19
3.2	Objetivos específicos.....	19
4	Justificación y delimitación	19
4.1	Justificación de la investigación.....	19
4.2	Delimitación de la investigación.....	21
4.3	Limitaciones de la investigación.....	21
5	Marco referencial.....	22
5.1	Estado del arte	22
5.1.1	Estado del arte nacional.....	22
5.1.2	Estado del arte internacional	26
5.2	Marco teórico	30
5.2.1	Modelos de Optimización.	30
5.2.2	Consumo Energético	31

	11
5.2.3 Producción Textil.....	32
5.2.4 Eficiencia Energética.....	34
5.3 Marco normativo y legal.....	35
6 Marco Metodológico.....	36
6.1 Recolección de la Información.....	36
6.1.1 Tipo de Investigación.....	36
6.1.2 Fuentes de obtención de la información.....	36
6.1.3 Herramientas.....	37
6.1.4 Metodología.....	38
6.1.5 Información Recopilada.....	39
6.1.6 Carga eléctrica del Proceso.....	51
6.2 Análisis de la Información.....	53
6.2.1 Caracterización del Proceso.....	53
6.2.2 Estimación de Carga Eléctrica.....	54
6.2.3 Diagnóstico de Consumo.....	56
6.2.4 Calidad de energía.....	59
6.2.5 Análisis de criticidad.....	63
6.2.6 Análisis de causas de sobre consumo energético.....	65
6.2.7 Análisis estratégico de consumo energético.....	68
6.3 Propuesta de Solución.....	70

	12
6.3.1 análisis de calidad de energía.....	70
6.3.2 Desarrollar indicadores de línea de base energética.....	70
6.3.3 Eliminación de desperdicios “Disminución de fugas”.....	71
6.3.4 Cambio de elementos de iluminación.	72
6.3.5 Diagnóstico de motores convencionales por motores de alta eficiencia.	74
7 Impactos esperados.....	76
7.1 Impactos Esperados.....	76
7.1.1 En cuanto a la iluminación.....	76
7.1.2 Respecto al análisis de calidad de energía.....	76
7.1.3 De la implementación de motores de alta eficiencia.....	77
7.2 Impactos Alcanzados.....	77
8 Análisis Financiero.....	78
8.1 Análisis de Calidad de Energía.....	78
8.1.1 ROI Análisis de calidad de energía.....	79
8.2 Cambio de elementos de iluminación.	81
8.2.1 ROI Cambio de luminarias.....	81
8.3 Planes de eliminación de fugas de aire comprimido.	82
8.3.1 ROI Eliminación de fugas.....	83
8.4 Cambio de motores convencionales por motores de alta eficiencia.....	85
8.4.1 ROI motores de alta eficiencia.....	85

9	Conclusiones y Recomendaciones.....	86
9.1	Conclusiones	86
9.2	Recomendaciones.....	88
10	Bibliografía	90

Tabla de Tablas

Tabla 1	35
Tabla 2	42
Tabla 3	43
Tabla 4	45
Tabla 5	46
Tabla 6	46
Tabla 7	47
Tabla 8	47
Tabla 9	48
Tabla 10	49
Tabla 11	50
Tabla 12	50
Tabla 13	54
Tabla 14	55
Tabla 15	72
Tabla 16	74
Tabla 17	75
Tabla 18	78
Tabla 19	79
Tabla 20	80
Tabla 21	81
Tabla 22	83

Tabla 23	83
Tabla 24	84

Tabla de Figuras

Figura 1	33
Figura 2	34
Figura 3	36
Figura 4	40
Figura 5	40
Figura 6	41
Figura 7	41
Figura 8	44
Figura 9	51
Figura 10	52
Figura 11	57
Figura 12	58
Figura 13	60
Figura 14	60
Figura 15	61
Figura 16	62
Figura 17	62
Figura 18	64
Figura 19	65

Figura 20	66
Figura 21	67
Figura 22	69

1 Título de la Investigación

Diseño de una propuesta de optimización del consumo energético para el sector textil, basado en una empresa de producción textil en Colombia.

2 Problema de Investigación

2.1 Descripción del problema

El sector textil en Colombia representó para el año 2019 el 8,2% del PIB industrial del país, lo que la enmarca como un sector productivo de gran importancia, este sector aporta el 21% del empleo industrial en el país y un 9% a las exportaciones del sector manufacturero.

Al ser un sector de gran relevancia en la economía de la nación, estas empresas afrontan diariamente el problema de mantenerse rentables en el mercado, esta falta de rentabilidad históricamente ha llevado a las empresas textiles del país a niveles de bajo crecimiento, esto apoyado en que en los últimos años muchas empresas han cerrado o han reducido su operatividad.

Por esta razón las empresas textiles buscan cada día reducir sus costos de operación mientras aumenta por otro lado su participación en el mercado. Según el informe del banco de Desarrollo de América Latina las empresas textiles por su complejidad utilizan un alto porcentaje del costo operativo al consumo energético, adicional a esto se estima que la mitad de las emisiones de Co₂ en el sector textil provienen del uso de electricidad y es aquí donde los proyectos de eficiencia energética en el sector toman cada día más fuerza, se estima que el costo de la energía para este tipo de industria representa cerca del 25% del total del gasto operativo, esto se debe a que las empresas textiles tienen una gran variedad de procesos e innumerables tipos y diseños de máquinas industriales, una empresa promedio del sector textil puede llegar a tener más de 500 máquinas de gran tamaño las cuales demandan un alto consumo energético.

En una empresa de producción textil en Colombia la energía eléctrica es medida en Kilovatios hora (Kw/h), esta medición también es tarifada o cobrada por la empresa prestadora del servicio y depende de la regulación que se aplique en ese sector o región específica, en promedio para el año 2021, fecha en que se realiza este trabajo la tarifa media de energía para el sector industrial en Colombia es de 380 pesos por Kw/h.

2.2 Planteamiento del problema

El consumo energético y la búsqueda de energías alternativas para mitigar los gastos operativos en sectores de gran tamaño, se han vuelto primordiales para los gerentes de operaciones en los últimos años, por esta razón el presente trabajo se plantea la siguiente pregunta: ¿la generación de una propuesta que brinde alternativas de optimización del consumo energético en las industrias del sector textil en Colombia podrá ser una referencia para el sector?. Y si esta propuesta traerá beneficios económicos, ambientales y sociales al ser implementada.

2.3 Sistematización del problema

¿Cuál es la situación actual de consumo energético en los procesos productivos de empresas del sector textil en Colombia?

¿Qué problemáticas existentes en cuanto a consumo energético para empresas del sector textil en Colombia son las más significativas?

¿La industria textil en Colombia cuenta con planes para el ahorro y eficiencia energética?

3 Objetivos de la investigación

3.1 Objetivo general

Diseñar una propuesta de optimización del consumo energético para una empresa del sector textil en Colombia.

3.2 Objetivos específicos

Diagnosticar la situación actual de consumo energético en los procesos productivos de empresas del sector textil en Colombia.

Establecer las problemáticas existentes en cuanto a consumo energético para empresas del sector textil en Colombia.

Desarrollar propuestas de ahorro y eficiencia energética para la industria textil en Colombia.

4 Justificación y delimitación

4.1 Justificación de la investigación

los gerentes de empresa en Colombia buscan aumentar cada vez sus márgenes de rentabilidad mientras al mismo tiempo disminuyen los gastos de operación, y es al final de cada periodo que estos gerentes muestran sus resultados, verifican si se alcanzó o no el cumplimiento a la estrategia definida y si lograron ser competitivas en el sector al cual representan, es este continuo alcance de resultados el que decidirá si su empresa se mantiene activa en el mercado.

Los gerentes operativos que trabajan en empresas del sector textil constantemente adelantan planes de disminución en sus gastos de operación, buscando alternativas más eficientes en todos los niveles de la organización, por esto es común que este tipo de empresas se planteen

diferentes objetivos estratégicos para mejorar sus indicadores año a año, uno de estos objetivos es la reducción del consumo de energía eléctrica, por esta razón se pretende desarrollar un modelo que permita optimizar el consumo de energía y genere orientaciones al ahorro y a la eficiencia en una planta de producción textil.

El sector textil es conocido por ser de gran tamaño, en las industrias manufactureras colombianas, su aporte lo muestra un 8,6% del producto interno bruto industrial (PIB) lo que hace que las emisiones de Co₂ provenientes del consumo energético sean un factor a tener en cuenta cuando hablamos de optimización y cuidado del medio ambiente.

Esta investigación busca la generación de una propuesta que no solo ayude a este tipo de empresas en su reducción de gastos operacionales, si no también que permita mitigar directamente la generación de Co₂, gas presente en la atmósfera el cual genera que el calor irradiado por el sol se quede dentro del planeta y se produzca el efecto invernadero, los estudios a nivel global confirman que en los últimos años las concentraciones de Co₂ han sobrepasado límites nunca antes vistos, lo que produce que el planeta sea cada vez más caliente.

Por esta razón si la investigación logra tener un desarrollo satisfactorio y los consumos de energía eléctrica se disminuyen y/o se optimizan en torno al sistema productivo, esta propuesta aportará no solo a este tipo de empresas, sino al país un beneficio intangible con el cuidado y preservación del medio ambiente.

4.2 Delimitación de la investigación

El presente proyecto tiene como fin diseñar una propuesta de optimización energética el cual se va a desarrollar bajo los lineamientos y criterios de los programas académicos de la universidad ECCI, estará bajo la asesoría del docente y con aporte investigativo del estudiante.

Se desarrollará de forma abierta al sector de producción textil y se pretende tener un impacto en todos los procesos de producción textil aplicados a cualquier empresa de este tipo a nivel nacional, estos procesos son: tejeduría, tintorería, áreas de acabados y áreas de preparación de tela y embellecimiento. Se pretende desarrollar entre los meses de febrero y agosto de 2021 Y se busca en el desarrollo del modelo brindar alternativas de trabajo en cada proceso orientando al mínimo consumo de energía con la máxima producción posible a alcanzar, generar herramientas de apoyo sistemáticas, modelos de trabajo y demás propuestas que ayuden a controlar el gasto energético, por último se espera proponer mejores métodos y procesos que estén a la vanguardia en el tema de eficiencia energética.

4.3 Limitaciones de la investigación

Dentro de la evaluación del proyecto se encuentra que existen limitaciones de tiempo, esto teniendo en cuenta que se tienen 6 meses para la presentación de la propuesta, también se limita su alcance, al enfocar el proyecto teniendo como modelo empresas del sector textil de una sola región del país, Cundinamarca.

5 Marco referencial

5.1 Estado del arte

5.1.1 Estado del arte nacional

5.1.1.1 Modelo de normalización de indicadores de desempeño energético en implementación de sistemas de gestión de energía. Caso de estudio sector textil

En el año 2015 los señores José Daniel Cleves, Omar Fredy Prías, y Henry Camilo Torres desarrollaron el trabajo titulado “Modelo de normalización de indicadores de desempeño energético en implementación de sistemas de gestión de energía” como opción de grado en la Universidad Nacional de Colombia, el proyecto plantea el diseño de un modelo para establecer una medición del consumo de energía por producto, esto se desarrolla bajo en concepto de la intensidad energética utilizada en producción, con el objetivo de estimar una producción equivalente con un comportamiento objetivo de acuerdo con la producción (Cleves, Prias, & Torres, 2015), el trabajo es pertinente como base de esta investigación porque plantea el desarrollo de un modelo matemático para la medición de energía en una empresa textil.

5.1.1.2 Oportunidades de las empresas de servicios energéticos en el mercado de la eficiencia energética de la industria colombiana.

En el año 2017 Cesar Augusto Durán desarrolla el trabajo titulado “Oportunidades de las empresas de servicios energéticos en el mercado de la eficiencia energética de la industria colombiana” como opción de grado en la Universidad EAN, el proyecto plantea un enfoque de oportunidad de negocio para las empresas que trabajan en la eficiencia energética a nivel industrial, esto basado en la promulgación del plan de acción indicativo de eficiencia energética

para Colombia el cual genera incentivos u oportunidades normativas, tributarias, financieras y sociales para las empresas que diseñen planes de eficiencia energética (Duran Suarez, 2017), este proyecto de maestría es pertinente para el desarrollo de la investigación porque muestra un enfoque de oportunidades y beneficios a las empresas que desarrollen planes para la optimización del consumo energético, desde el punto de vista de los proveedores o empresas dedicadas a prestar estos servicios de eficiencia, lo anterior para poder ofrecer a la empresa alternativas normativas e incentivar su proceso de cambio.

5.1.1.3 Comparación de estrategias de control para maximizar la eficiencia energética en motores síncronos de reluctancia

En el año 2018 Sergio Fabián González desarrolló el trabajo titulado “Comparación de estrategias de control para maximizar la eficiencia energética en motores síncronos de reluctancia” como opción de grado en la Universidad Nacional de Colombia, el proyecto muestra la aplicación en una bancada de ensayo de 3 modelos diferentes de trabajo para los motores sincrónicos de reluctancia (Gonzalez, 2018). El trabajo aporta al desarrollo de la investigación porque plantea un análisis de método para mejorar la eficiencia en los motores sincrónicos, los cuales son muy utilizados en grandes industrias como la textil, por lo que puede ser de gran aporte a la temática tratada en esta investigación.

5.1.1.4 La eficiencia energética en la industria manufacturera colombiana: una estimación con análisis envolvente de datos DEA y datos panel.

En el año 2011 Clara Inés Pardo y Alexander Cotte Poveda desarrollan el trabajo titulado “La eficiencia energética en la industria manufacturera colombiana: una estimación con análisis envolvente de datos DEA y datos Panel” como opción de grado en la Universidad de la Salle, el proyecto muestra la aplicación de técnicas estadísticas para el análisis de datos en eficiencias energéticas en la industria manufacturera, obteniendo como resultado la aseveración e importancia que la industria le ha dado al factor de eficiencia energética como un factor productivo en las estructuras de producción (Martinez & Poveda, 2011). El trabajo es considerado un aporte a la presente investigación dado el enfoque de análisis estadístico y de datos por ver los comportamientos de la eficiencia energética en sectores productivos, lo cual es de utilidad en la aplicación de los objetivos de la investigación.

5.1.1.5 Estructura productiva, eficiencia energética y emisiones de CO2 en Colombia.

En el año 2016 Lourdes Isabel Patiño desarrolla el trabajo titulado “Estructura productiva, eficiencia energética y emisiones de CO2 en Colombia” como opción de grado en la Universidad autónoma de Barcelona, el proyecto muestra la aplicación de técnicas estadísticas para lograr la interrelación entre tres factores de importancia en la actividad productiva nacional, estos factores están dados en consumo de energía, actividad económica y las emisiones del CO2, las técnicas utilizadas logran evidenciar como la intensidad energética en la actividad económica logra mediante el uso eficiente de energía disminuir los niveles de Co2 generado (Lourdes, 2016). El trabajo se considera de utilidad debido al enfoque estadístico que utiliza, lo que

brindara aportará al presente trabajo logrando evidenciar la cantidad de energía que se ahorre y los niveles de CO2 disminuidos.

5.1.1.6 El MGEI, un modelo de gestión energética para el sector productivo nacional.

En el año 2008 Juan Carlos campos Avella y Omar Freddy Prias desarrollan el trabajo titulado “El MGEI, un modelo de gestión energética para el sector productivo nacional” como publicación de un artículo técnico de revista para la Universidad autónoma de Occidente, el articulo propone un modelo de gestión energética en el sistema productivo nacional, tomando como bases los modelos trabajados alrededor del mundo que han sido de gran éxito en su implementación, el trabajo considera que con la aplicación del MGEI en la empresa se podría instalar un sistema de gestión integral de la energía “SGIE” lo cual ayudaría a reducir el consumo energético y sus costos (Campos Avella & Prias Caicedo, 2008), El trabajo se genera otro enfoque a la eficiencia energética desde un modelo de gestión energética aplicado en diferentes industrias alrededor del mundo con resultados positivos, esto podrá ser de gran ayuda en el enfoque de diseño de la propuesta de modelo para esta investigación.

5.1.1.7 Modelo matemático para la optimización del sistema productivo en función del consumo energético en la MIPYME ASEOPLAST JLH

En el año 2016 Andrés Felipe prieto desarrolla en trabajo “Modelo matemático para la optimización de sistemas productivos en función del consumo energético en la MIPYME ASEOPLAST JLH” como opción de grado en la Universidad Cooperativa de Colombia, este proyecto busca desarrollar un modelo desde la máxima utilidad en torno a la capacidad instalada, y lograr así un aprovechamiento de la energía del sistema con el fin de generar ahorro un óptimo

desarrollo de la producción (Prieto Amado, 2016), este proyecto se considera pertinente porque desarrolla una metodología de ahorro energético desde la perspectiva productiva.

5.1.2 Estado del arte internacional

5.1.2.1 Análisis de eficiencia energética para optimizar recursos en la fábrica

TEXTILES LA ESCALA S.A.

En el año 2011 Tito salomón Quinga desarrolla el trabajo titulado “análisis de eficiencia energética para optimizar recursos en la fábrica Textiles La Escala S.A” como opción de grado en la Escuela Politécnica Nacional de Quito Ecuador, el proyecto plantea alternativas de ahorro energético en la planta de producción textil basados en el estado actual de consumos, re-diseño de espacios eléctricos, medición de calidad de energía así como una propuesta para trabajo eficiente y cuidado de los equipos (Quinga Vega, 2011), el trabajo aporta al desarrollo de esta investigación porque muestra un enfoque académico y conceptual que está directamente relacionado con el objetivo general de este trabajo.

5.1.2.2 Evaluación energética industrial de las instalaciones textiles de Delltex

Industrial S.A. planta Cumbaya aplicando la norma NTE INEN-ISO 50001:2012.

En el año 2016 Walter Edwin Taibe desarrolla el trabajo titulado “Evaluación energética industrial de las instalaciones textiles de Delltex Industrias S.A. planta Cumbaya aplicando la norma NTE INEN-ISO 5001:2012”, como opción de grado en la Escuela Politécnica Nacional de Quito Ecuador, el proyecto plantea un enfoque de medición y levantamiento de información de consumos energéticos de la empresa basados en la aplicación de una norma internacional, así como plantear alternativas de mejora en consumos basados en las mediciones de los procesos en

la empresa textil (Taípe Vilana, 2016), este trabajo se considera adecuado para la presente investigación debido a que muestra un enfoque en la aplicación de normas técnicas pertinente, y su utilización al establecer y mejorar la eficiencia energética en la planta textil, estos conceptos desarrollados muestran una alta relación con la presente investigación.

5.1.2.3 Estudio de oportunidad de implementación de un proyecto de cogeneración en el Combinado Textil “Desembarco del Granma”.

En el año 2013 Arcelio Jiménez Abreu desarrolla el trabajo titulado “Estudio de oportunidad de implementación de un proyecto de cogeneración en el combinado textil desembarco del Granma”, como opción de grado en la Universidad Central Marta Abreu de las Villas Cuba, el proyecto plantea la evaluación de posibles alternativas de ampliación en la cogeneración energética para un conglomerado textil, buscando la opción más económica y eficiente según el retorno de la inversión, esto proyectado con la futura ampliación del conglomerado (Jimenez Abreu, 2013), este trabajo se considera adecuado para la presente investigación por su pertinente estudio de ampliación en la cogeneración energética, lo cual lo hace útil en la viabilidad de desempeño del actual modelo al tomar la cogeneración como una alternativa al ahorro en consumo y gasto.

5.1.2.4 Análisis energético para determinar los correctivos a los disturbios eléctricos en las instalaciones de la planta de producción textil San Miguel de empresas Pinto S.A.

En el año 2010 Hugo Bayardo Santa Cruz desarrolla el trabajo titulado “Análisis energético para determinar los correctivos a los disturbios eléctricos en las instalaciones de la planta de producción textil San Miguel de empresas Pinto S.A.” como opción de grado en la

Universidad Técnica del Norte, Este proyecto muestra un análisis basado en información de la calidad de energía que llega a la planta y se distribuye en los diferentes equipos, con esta información se logra establecer la calidad de la energía y generar una propuesta de ahorro energético a la empresa (SantaCruz, 2010), este trabajo se considera adecuado para la presente investigación por análisis de caso de disturbios eléctricos, lo que puede aportar en términos conceptuales y de pertinencia a la presente investigación.

5.1.2.5 Gestión de eficiencia energética: cálculo del consumo, indicadores y mejora

En el año 2012 Antonio Carreño Peña y Juan Manuel García Sánchez, desarrollan el trabajo titulado “Gestión de eficiencia energética: cálculo del consumo, indicadores y mejora” como publicación de artículo científico en Aenor Ediciones, Este artículo muestra el panorama de la eficiencia energética desde las diferentes regulaciones existentes, el concepto desempeño energético y los diferentes indicadores existentes, también analiza los requisitos legales generales para un sistema de gestión energética dentro de la regularización de España (Peña & Sanchez, 2012), la importancia de este trabajo radica en la regulación de España y de Europa a los modelos de gestión de eficiencia, cómo medir su desempeño y la importancia de estos en el sistema productivo, también tiene un gran aporte en los conceptos energéticos usuales y aporta conocimientos en las disciplinas energéticas existentes.

5.1.2.6 Eficiencia energética en América latina y el Caribe: avances y desafíos del último quinquenio

En el año 2013 Claudio Carpio, desarrolló el trabajo titulado “eficiencia energética en América Latina y el Caribe: avances del último quinquenio”; como documento de elaboración

para el diálogo político regional en eficiencia energética, este documento abarca un análisis de evolución en la temática de eficiencia energética en los países de América Latina y del Caribe, su objetivo es analizar la evolución de los programas desarrollados en cada país durante un periodo de 5 años donde se muestren herramientas de promoción y desarrollo de la eficiencia energética (Carpio, 2013), la importancia de este trabajo radica en la perspectiva política que mediante CEPAL se le da a la eficiencia energética en América Latina, lo que se considera importante para esta investigación por los avances que en tiene la mejora energética en el mundo.

5.1.2.7 Introducción a los modelos de sistemas energéticos, económicos y medioambientales: descripción y aplicaciones del modelo POLES

En el año 2005 Hidalgo González Ignacio desarrolló el proyecto “Introducción a los modelos de sistemas energéticos, económicos y medioambientales: descripción y aplicaciones del modelo POLES” como informe para la revista económica mundial, este informe presenta un estado de uso de los modelos E3, (Energy-economy-environment) los cuales buscan llegar a soluciones futuras posibles con el análisis de variables, modelos de economía futura y proyectando el estado de los modelos de eficiencia energética (Hidalgo González, 2005). Este informe presenta un análisis de las políticas adoptadas por la Unión Europea en la reducción de gases de efecto invernadero, mostrando la importancia del proyecto de eficiencia energética, bajo el modelo E3, lo anterior es relevante para el presente proyecto porque desarrolla la temática de la eficiencia energética no solo desde el enfoque productivo sino desde el enfoque normativo y legal.

5.1.2.8 Modelo de gestión de mantenimiento enfocado en la eficiencia y optimización de la energía eléctrica.

En el año 2016 José Bernardo Peña desarrolló el proyecto titulado “modelo de gestión de mantenimiento enfocado en la eficiencia y optimización de la energía eléctrica” como proyecto de grado en la Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, este trabajo se desarrolla bajo la premisa de generar un modelo de eficiencia energética basados en las actividades de mejoramiento de parámetros y mediciones del área de mantenimiento (Peña J. B., 2016), este proyecto aporta a la investigación teniendo en cuenta que su metodología da un enfoque diferente desde el área de mantenimiento de la industria productiva, con la búsqueda de mejores indicadores y mediciones de parámetros se logra establecer un modelo de mantenimiento enfocado al ahorro energético.

5.2 Marco teórico

El marco teórico de la presente investigación, busca dar un mayor soporte técnico y científico al objetivo del estudio para esto se definen los siguientes temas a tratar: Modelos de Optimización, Consumo energético, Producción textil, eficiencia energética.

5.2.1 Modelos de Optimización.

Un modelo de optimización matemática consiste en una función objetivo y un conjunto de restricciones en la forma de un sistema de ecuaciones o inecuaciones (Arsham, 2021). Los modelos de optimización han sido usados en la resolución de problemas de ingeniería, finanzas, administración y demás áreas de la ciencia, su objetivo es realizar acercamientos a tomas de decisiones complejas a simple vista.

La programación matemática busca determinar situaciones complejas de la vida cotidiana, donde el analista tiene como fin maximizar los recursos o minimizar los costos o posibles pérdidas dentro del modelo, este modelo tiene variedad de restricciones que se deben tener presentes, estas restricciones son limitaciones a las cuales debemos alinearnos, un ejemplo de esto pueden ser las horas trabajadas, la cantidad de energía a consumir entre otros, son limitaciones que la solución óptima debe cumplir.

Por otro lado, están los recursos que usualmente se buscan optimizar en este tipo de modelos, dentro de los recursos encontramos, personas, materiales, dinero, terrenos entre otros, el objetivo de la optimización global es encontrar la mejor solución de modelos de difícil solución. Los modelos de optimización hacen parte de la investigación de operaciones, la cual existe como una ciencia que permite la resolución de problemas complejos en las áreas productivas, esta investigación de operaciones data de los principios de la segunda guerra mundial en donde la escasez de recursos, logro que se planeara la mejor forma de optimizarlos, según Rodrigo Pérez Peña la aplicación de un modelo de investigación de operaciones tiene las fases de: estudio de la organización, interpretación de la organización como un sistema, formular el problema de la organización, construcción del modelo, derivación de soluciones del modelo, prueba del modelo y sus soluciones, diseño de controles asociados a las soluciones, e implementación de las soluciones al sistema (Peña R. P., 2019), al plantear el tipo de modelo se deberá buscar la mejor alternativa de solución según el modelo planteado.

5.2.2 Consumo Energético

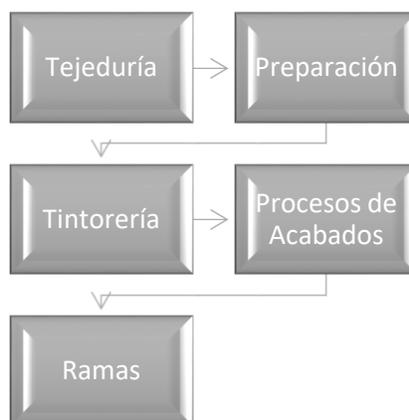
El consumo energético es la cantidad de energía consumida por un sistema, esta medida está dada en potencia utilizada y normalmente se mide en Kw/h “Kilovatios Hora”, estos

sistemas en donde se desarrollado el consumo energético pueden ser hogares, sistemas de vivienda, sistemas productivos y fabricas enteras, el concepto de consumo energético esta inversamente relacionado con la eficiencia energética, pues a medida que se aumenta el consumo la eficiencia energética disminuye. El consumo energético debe ser ampliamente analizado en los sistemas de producción ya que de su control depende la magnitud del impacto ambiental, esta medida se ve reflejada en los aumentos de gases efecto invernadero, con la industrialización estos gases han aumentado en casi todas partes del mundo, son directamente exponenciales según el consumo de energía eléctrica aumente, en el informe “Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero en España” del año 1990 al año 2005 el aumento de estos gases ha pasado de ser casi un 52,88% (Nieto & Santamarta, 2006), esto debido al aumento generado en el consumo de energía eléctrica.

5.2.3 Producción Textil.

El proceso textil se fundamenta en el tratamiento de fibras textiles de diferente composición para la fabricación de tejidos, este proceso de producción tiene a su vez innumerables procesos interrelacionados con el fin de brindar un producto acabado tejido y listo para confeccionar, el proceso textil no incluye la fabricación del hilo, pues este proceso es para empresas de hilatura propiamente dichas, el proceso de hilatura o tejeduría contempla el proceso de tisaje, el cual consiste en realizar las operaciones necesarias para la generación de tejidos, estos tejidos están clasificados en: tejido de punto, de tipo plano y de tipo tricot, donde cada uno representa una tecnología de fabricación muy diferente bajo las mismas premisas.

Después del tejido te la tela, los procesos subsiguientes que hacen parte del gran proceso textil son: Tejeduría, Preparación, Blanqueo, Tintura, Estampación y Acabados.

Figura 1*Flujo proceso textil*

Nota: la imagen muestra el flujo del proceso dentro de una empresa textil para la producción de telas, fuente: el autor

La tejeduría es el proceso mediante el cual el hilo pasa por un sistema de agujados que lo entrelazan entre sí, aunque existen varios tipos de tejeduría o tecnologías para generar tejidos, los más utilizados a nivel mundial son, los tejidos de tipo punto (Circular y Tricot) y los tejidos de tipo plano, según el tipo de tejido y el acabado que se requiera a la tela se utilizan algunos procesos posteriores, la preparación consiste en adecuar los tipos de tela para procesos de tintura en donde la tela debe llegar lo mejor preparada posible.

El proceso de Tintorería consiste en exponer la tela a altas temperaturas con colorantes y productos químicos que generan un fijado del colorante al tejido, la tintura por termosol se realiza por temperatura en un tipo de máquina diferente, en esta máquina la temperatura es crucial para lograr que el tejido con la exposición al baño cambie su tonalidad.

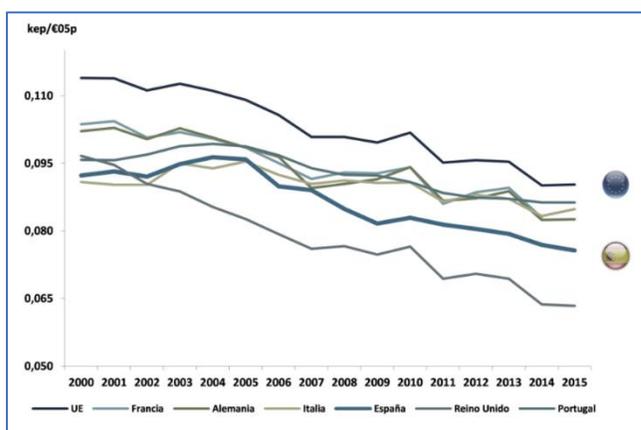
Los procesos de acabados o embellecimiento son terminaciones especiales que se realizan en el tejido según el acabado que se esté buscando, estos procesos varían desde un acabado liso por medio de esmerilado hasta el tipo perchado según la apariencia que se quiera, por último la tela pasa por la Rama que tiene la finalidad de estabilizar el tejido por medio de temperatura para su entrega a cliente final.

5.2.4 Eficiencia Energética

La eficiencia energética es al igual que con cualquier otro recurso la relación que existe entre los resultados obtenidos y los recursos utilizados, en este caso el recurso energético, en términos macroeconómicos la eficiencia energética se calcula a través del concepto intensidad energética, que se calcula con el coeficiente generado entre el consumo energético de una economía y el producto interno bruto o PIB (Manual de la Energía, 2021).

Figura 2

Evolución anual de la intensidad energética final (Consumo de energía por unidad de PIB).



Nota: La Figura presenta el nivel de consumo de energía por cada unidad de producto interno bruto en la Comunidad Económica Europea y España: Fuente IDAE, Estudios, Informes, y estadísticas.

El cambio climático ha generado diversas políticas en el entorno global relacionadas con reducción de los GEI los causantes del calentamiento global, las naciones unidas según el acuerdo de París que entró en vigor en 4 de noviembre de 2016, busca que los países modulen sistemas que promuevan la reducción de agentes contaminantes, según (Manual de la Energía, 2021), la eficiencia energética que se ha promovido en los últimos años es la responsable de la disminución de casi el 60% de la reducción de emisiones, lo que la vuelve un factor ideal para ayudar contra el cambio climático.

5.3 Marco normativo y legal

La investigación requiere ser enmarcada en la legislación y la normatividad vigente relacionada, lo anterior para tener un mayor impacto y validez, a continuación se citan los referentes más significativos desde este punto de vista.

Tabla 1

Marco normativo Y Legal

Norma/Ley/Decreto/Resolución/Acuerdo Que Aplica	Numerales Seleccionados	Observación
NTC ISO 50001, Sistema de gestión de energía	Toda la norma y cláusula 4.2.1 numeral C	Mejorar el sistema de gestión de energía y el desempeño energético resultante
Ley 1715 de 2014	Toda la ley	Tiene como objeto la aplicación y utilización de fuentes no convencionales de energía.
Resolución N° 41286 de 2016 PAI	2017-2022	Plan de acción indicativo de eficiencia Energética PAI 2017-2022
Plan Energético Nacional	2020-2050	Regulación entorno al plan energético del país

Balance Energético Colombiano	1975-2019	Resumen de la información de producción, transformación, y consumo de energía del país
--------------------------------------	-----------	--

6 Marco Metodológico

6.1 Recolección de la Información

6.1.1 Tipo de Investigación

El tipo de investigación del presente trabajo de grado es considerado como de estudio de caso, ya que se enfoca en el análisis del consumo energético de una planta de producción textil, la metodología de investigación es de tipo mixto, ya que involucra información cualitativa y cuantitativa.

6.1.2 Fuentes de obtención de la información.

Figura 3

Fuentes de obtención de información

Fuentes Para Obtención de la Información			
Fuentes Primarias	Descripción	Fuentes Secundarias	Descripción
Información Histórica	Se analizará la información que existente en los repositorios de la universidad ECCI.	Informe Energético Región	Informe del banco de desarrollo de américa latina, que muestra estado actual y avances en torno a la eficiencia energética del sector textil.
Entrevistas con Gerentes y Jefes.	Las entrevistas con el personal especializado, encargados de plantas y procesos del sector.	Trabajos de Grado	Repositorios, proyectos de grado y tesis que enfocan su estudio en eficiencia energética del sector.
Normativa Ambiental	Normas que delimiten o brinden un norte a nivel ambiental y ponderen los impactos ambientales del uso eficiente de la energía eléctrica en el país.	Normas Eficiencia Energética	Normas que delimitan los parámetros a tener en cuenta para medición de calidad de la energía, estas son evaluadas por las empresas prestadoras de servicios de energía.

Nota: La Figura define las fuentes de obtención de información. Fuente: el autor

6.1.3 Herramientas.

Las herramientas usadas para el desarrollo de la presente investigación son:

6.1.3.1 Hojas de Recolección de Datos.

Son listas de verificación que se utilizan en la recolección de información, son muy usadas cuando se desarrolla el trabajo en campo ya que permiten al analista generar un paso a paso para la captura de la información.

6.1.3.2 Diagrama de Pareto.

Es una técnica que permite clasificar por orden de importancia según su peso y/o valor la información obtenida mediante las hojas de recolección, el diagrama de Pareto es muy importante cuando se quiere priorizar por orden de importancia alguna variable que se esté analizando.

6.1.3.3 Diagrama de Causa y Efecto.

Es una herramienta para análisis de problemas, su enfoque radica en la relación de un efecto con las posibles causas que pueden generarlo, su presentación grafica usa frecuentemente las 6m de la ingeniería de procesos para enfocar las causas de los posibles problemas.

6.1.3.4 Taxonomía de los Elementos.

Se refiere a una clasificación por orden jerárquico de elementos que hacen parte de un conjunto, permite su clasificación, organización y priorización, también es posible una descripción terminológica de cada elemento que será usada para facilitar la búsqueda cuando se requiera.

6.1.3.5 Análisis de Criticidad.

El análisis de criticidad es una herramienta que permite definir o establecer un método de determinación de jerarquías de los procesos, sistemas y/o equipos, este análisis ayudara a enfocar los esfuerzos de las compañías en lo que se considere más relevante, evitando así que se pierdan recursos en procesos que no son relevantes para la mejora según el caso.

6.1.3.6 Indicadores de Calidad Energética

La medición de la calidad de la energía en las industrias es clave para la determinación de niveles de consumo eficiente, estos indicadores permiten obtener o no confiabilidad en los consumos y muestran el inicio de cualquier modelo de eficiencia energética que se quiera implementar, dentro de los indicadores de calidad de la energía se evalúa, la potencia generada en el proceso, la potencia consumida, los niveles de energía aprovechada vs la energía perdida, y los armónicos generados en las estaciones de consumo energético.

6.1.4 Metodología.

Para el desarrollo del objetivo número 1 “Diagnosticar la situación actual de consumo energético en los procesos productivos de empresas del sector textil”, se trabajará con la siguiente metodología: se caracterizará el proceso de Producción textil determinando la carga eléctrica consumida por volumen de producción, luego se buscará generar un diagnóstico inicial de consumos en el proceso productivo.

Para el desarrollo del objetivo número 2 “Establecer las problemáticas en cuanto a consumo energético para empresas del sector textil en Colombia”, se establecerán indicadores de calidad energética en una empresa de producción textil, adicional a esto, se aplicará un Análisis de criticidad por alto consumo en los procesos de producción y un Análisis estratégico o matriz DOFA del consumo energético en la empresa.

Para el desarrollo del objetivo número 3 “Desarrollar propuestas de ahorro energético y eficiencia energética para la industria textil en Colombia”, se evaluarán y analizarán los casos de sobre consumo de energía en procesos de producción textil, valorando las causas y efectos de los altos consumos para a partir de eso generar y clasificar propuestas de solución y establecer su viabilidad.

6.1.5 Información Recopilada.

6.1.5.1 Proceso de producción Textil

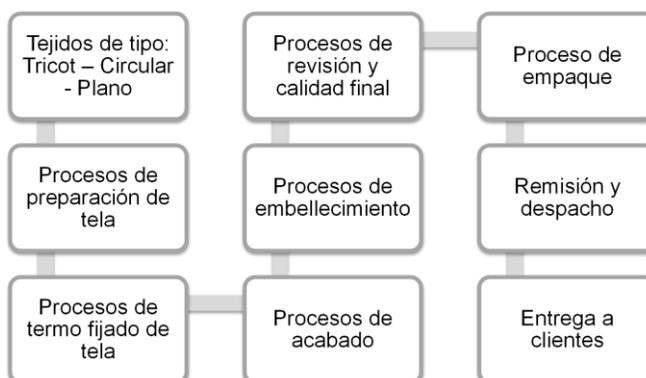
El gran mundo de la fabricación de la tela en el mundo está enmarcado por 3 grandes industrias, que aunque actúan en su mayoría por separado se complementan una con la otra, estas industrias son:

- Industria de empresas fabricantes de hilo o hilanderías
- Industrias de fabricantes de tela o lo que se conoce como proceso de producción textil.
- Industria de confecciones, los que fabrican y confeccionan prendas de vestir y para otros usos comunes como la industria.

El presente proyecto está centralizado en la industria de producción textil, y su desarrollo es el siguiente:

Figura 4

Proceso Producción Textil



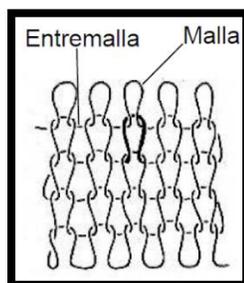
Nota: La Figura define el flujo de proceso de producción textil. Elaboración: Propia.

6.1.5.2 Tejido

Dentro de los tipos de tejido se encuentran, los tejidos de punto, donde están los de tipo circular o tricot y los de tejido plano, se diferencian por su construcción en el momento de la hilatura, un tejido de tipo circular está formado en sentido horizontal y su apariencia es de tipo malla, por su consistencia de malla es un tejido flexible.

Figura 5

Tejido de Punto Circular

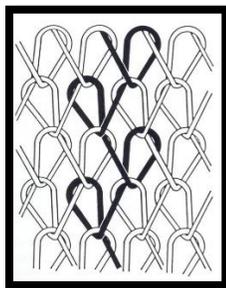


Nota: La Figura muestra el tipo de tejido de punto Circular. Elaboración: algunos-conceptos-de-telas-en-tejido-de.html

Los tejidos de tipo tricot pasan por un proceso de urdimbre antes del tejido, posteriormente en maquina los hilos se entre cruzan para que se forme una malla en sentido vertical (Lafayette, 2019).

Figura 6

Tejido de Tipo Tricot

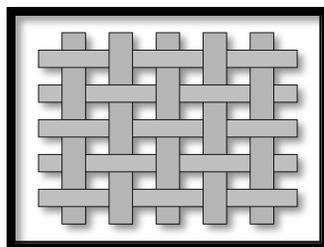


Nota: La Figura muestra el tipo de tejido de punto Tricot. Elaboración: [wikipedia.org/wiki/Tricot_\(textil\)](https://wikipedia.org/wiki/Tricot_(textil)).

El tejido plano se caracteriza porque sus hilos se entrelazan formando ángulos rectos, este tipo de hilo tiene unos hilos de características de tejido vertical que se conoce como la urdimbre y otros hilos de características de tipo vertical, lo que se conoce como la trama, (Lafayette, 2019).

Figura 7

Tejido de Tipo Plano



La Figura muestra el tipo de tejido de Plano. Elaboración: toallascarolina.com/post/las-dos-formas-de-tejido-m%C3%A1s-comunes

6.1.5.3 Procesos de Preparación – Termo fijado – Embellecimiento y Acabado

Los procesos de preparación de la tela dependen del tipo de tejido y del acabado final que se requiera, si un tejido se desea teñir o dar acabado de un color diferente al natural las telas deben pasar por procesos diferentes según corresponda, la siguiente tabla muestra la relación entre los tipos de tejido y su proceso de preparación, termo fijación, embellecimiento y acabado.

Tabla 2

Procesos según tipo de tejido

Tipo de Tejido	Preparación	Termo fijado	Embellecimiento	Acabado
Tejido de tipo Circular	Plegado	NA	Tintura por Jet o por Rama	Acabado final con paso por Rama
	Abertura de tela	Proceso por Maquina Rama		
Tejido de tipo Tricot	Lavado con per cloro	Proceso por Maquina Rama	Tintura por Jet o por Rama	Acabado final con paso por Rama
	Plegado			
Tejido de tipo Plano	Desengomado	NA	Tintura por Jet o por Rama	Acabado final con paso por Rama
	Gaseado	NA		
	Lavado Químico	NA	Tintura por Jet o por Rama	Acabado final con paso por Rama
	NA	Proceso Por Maquina Rama		

Nota: La tabla define los flujos de procesos según el tipo de fibra. Elaboración: Propia.

6.1.5.4 Definición de Maquinaria

La industria textil se caracteriza por ser una industria de gran desarrollo tecnológico, sus numerosos procesos hacen que la diversidad de maquinaria sea alta, los nuevos y novedosos acabados muestran también que al rededor del mundo los fabricantes están en constante desarrollo, en esta sección y para la definición de la maquinaria usada en los procesos de producción textil se usaran tablas o matrices de definición como sigue:

Tabla 3*Matriz Definición de Maquinaria*

Procesos	Tipo de maquinaria	Uso
Tejido	Telar de tipo circular	Fabricación de tejidos de tipo circular
	Telar de tipo plano	Fabricación de tejidos de tipo plano
	Telar de tipo tricot	Fabricación de tejidos de tipo tricot
	Telar de encaje tricot	Fabricación de tejidos de tipo tricot – encaje
Preparación	Abridora de Crudo	Abrir la tela cuando esta sale del telar Circular
	Plegadora	Preparar la tela para teñir en jet
	Gaseadora	Máquina utilizada para alisar la tela de tipo plano
	Lavadora de Plano	En esta máquina se eliminan las gomas y químicos utilizados en el blanqueo
	Lavadora de Percloro	Usada para telas de tipo tricot, elimina aceites y grasas de las fibras sintéticas
Termofijado	Ramas	Máquina de gran tamaño usada para dar propiedades térmicas a la tela
Embellacimiento	Jet	Máquinas usadas para tinturar la tela, por curvas de agotamiento
	Tomblor	Máquina usada para dar suavidad y volumen a las telas
	Perchadoras	Máquina usada para dar apariencia motosa y suave al tejido
	Tundidoras	Máquina usada para quitar des filamentos o fibras sueltas en la tela
	Esmeriladoras	Máquina usada para dar apariencia de piel de durazno en las telas
	Compactadora	Máquina usada para dar encogimiento a la tela y estabilidad al tejido
Acabado	Ramas	Máquina de gran tamaño usada para dar propiedades de acabados por temperatura.

Nota: La tabla define la matriz de tipo de maquinaria de una empresa textil. Elaboración: Propia

Junto con esta definición de maquinaria usada en las empresas de tipo textil, se deben mencionar los elementos usados para generación de energías y servicios, estos elementos son:

Calderas de vapor y de aceite térmico: estas calderas tienen como fin la transformación de energía química de algún tipo de combustible en energía térmica, este tipo de calderas

instaladas en empresas textiles tiene como fin generar vapor de agua o energía térmica usada en procesos de calentamiento de tela o elementos del sistema productivo.

Compresores Industriales: los compresores industriales tienen como fin el uso de aire comprimido para usarlo como energía de transmisión para mover un elemento o generar función de otro tipo de mecanismos, en la industria textil los compresores o sistema de aire comprimidos son muy usados en sus diferentes procesos, desde la tejeduría para llevar el hilo al sistema de agujado hasta el accionamiento de sistema neumáticos de las máquinas y herramientas.

Figura 8

Tipo de Calderas

Concepto	Calderas de vapor	Calderas de Aceite térmico
Capacidad Térmica	1 hasta 20 t/hr	1400 hasta 14000 Kw
Presión de Trabajo	0,7 - 2 MPA	0,8 - 1,0 MPA

Nota: La tabla define la matriz de tipo de maquinaria de una empresa textil. Elaboración: Propia

6.1.5.5 Carga eléctrica media en una empresa textil

La carga eléctrica es una medida de capacidad total de consumo de energía de una empresa dada por su uso en el sistema productivo, esta información de carga media muestra el nivel de requerimiento de energía que tiene el sistema, y sirve entre otras cosas para planificar el crecimiento y/o para disminuir la generación de energía en el sistema o al menos definir qué proceso tiene mayor carga eléctrica, y con esto los costos de generación y desaprovechamiento.

Para medir la carga eléctrica se deben definir el número sistemas que usan o consumen energía, esto se desarrolla al sumar cada una las placas que tienen los elementos conectados al sistema, estos elementos son motores, máquinas, equipos de iluminación y demás. Cuando se tiene este dato de carga conectada (CC), se procede a representar la demanda total del sistema.

La siguiente tabla muestra la carga media de las placas de fabricante de cada tipo de máquina, con ella podemos generar la máxima demanda posible de un sistema o instalación de transformadores que tiene la empresa y su posterior caracterización con la maquinaria utilizada en el proceso. (Electricidad, 2021).

Tabla 4

Carga por Maquina – Proceso

Procesos	Tipo de maquinara	Uso	Pn (Kw)
Tejido	Telar de tipo Circular	Fabricación de tejidos de tipo circular	8
	Telar de tipo Plano	Fabricación de tejidos de tipo plano	10
	Telar de tipo Tricot	Fabricación de tejidos de tipo tricot	9
	Telar de encaje Tricot	Fabricación de tejidos de tipo tricot - encaje	15
Preparación	Abridora de Crudo	Abrir la tela cuando esta sale del telar Circular	7
	Plegadora	Preparar la tela para teñir en jet	6
	Gaseadora	Maquina utilizada para alisar la tela de tipo plano	22
	Lavadora de Plano	En esta máquina se eliminan las gomas y químicos utilizados en el blanqueo	120
	Lavadora de Percloro	Usada para telas de tipo tricot, elimina aceites y grasas de las fibras sintéticas	60
Termofijado	Ramas	Máquina de gran tamaño usada para dar propiedades térmicas a la tela	200
Embellecimiento	Jet	Maquinas usadas para tinturar la tela, por curvas de agotamiento	54
	Tombler	Maquina usada para dar suavidad y volumen a las telas	24
	Perchadoras	Maquina usada para dar apariencia motosa y suave al tejido	17
	Tundidoras	Maquina usada para quitar des filamentos o fibras sueltas en la tela	16
	Esmeriladoras	Maquina usada para dar apariencia de piel de durazno en las telas	15
	Compactadora	Maquina usada para dar encogimiento a la tela y estabilidad al tejido	54

Nota: La tabla define la Carga eléctrica por maquina en el proceso textil. Elaboración: Propia

6.1.5.6 Histórico de consumo eléctrico en el proceso textil y Producciones.

Para el histórico de consumos, se tienen los datos de la empresa en estudio, los cuales han sido modificados para efectos del mismo teniendo en cuenta políticas de confidencialidad de la organización, la tabla a continuación muestra la relación de consumo en los últimos meses de este año en una empresa textil de gran tamaño.

Tabla 5

Consumo Eléctrico en Kw/h Año 2021

Sección	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Tejeduría	1.026.038	1.048.890	1.121.327	1.082.718	1.055.454	1.096.388
Preparación	185.257	189.383	202.462	195.491	190.568	197.959
Embelllecimiento	124.996	127.780	136.605	131.902	128.580	133.567
Acabados	539.727	551.748	589.852	569.543	555.201	576.733
Total	1.876.019	1.917.801	2.050.245	1.979.654	1.929.803	2.004.647

Nota: La tabla define el consumo eléctrico en Kw/h para el año 2021. Elaboración:

Propia.

Tabla 6

Consumo Eléctrico en Kw/h mes Año 2021

Sección	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Tejeduría	39.463	40.342	43.128	41.643	40.594	42.169
Preparación	7.125	7.284	7.787	7.519	7.330	7.614
Embelllecimiento	4.808	4.915	5.254	5.073	4.945	5.137
Acabados	20.759	21.221	22.687	21.905	21.354	22.182
Total	72.155	73.762	78.856	76.141	74.223	77.102

Nota: La tabla define el consumo eléctrico en Kw/h promedio día para el año 2021.

Elaboración: Propia.

En la tabla número 6 se puede encontrar que una empresa de tamaño mediano tiene un promedio al año de 75.375 Kw/h día para el año 2021, este consumo se obtiene al sumar los consumos de los contadores de cada sección diariamente.

Tabla 7

Producción Mensual en Kg año 2021

Sección	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Tejeduría	1.192.782	1.258.453	1.273.898	1.244.419	1.173.622	1.334.632
Preparación	371.815	355.824	434.353	427.388	410.816	446.127
Embellecimiento	245.207	185.271	206.219	205.199	251.991	261.024
Acabados	1.034.622	1.065.637	1.103.279	1.075.505	1.013.501	1.150.863
Total	2.844.425	2.865.185	3.017.748	2.952.510	2.849.929	3.192.646

Nota: La tabla define la producción actual en Kg para el año 2021. Elaboración: Propia.

La tabla número 7 muestra la producción promedio de una empresa de producción textil dada en kilogramos al año, con estas dos tablas podemos ver que el consumo de energía es directamente proporcional al aumento de la producción.

Tabla 8

Producción Diaria en Kg año 2021

Sección	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Tejeduría	45.876	48.402	48.996	47.862	45.139	51.332
Preparación	14.301	13.686	16.706	16.438	15.801	17.159
Embellecimiento	9.431	7.126	7.931	7.892	9.692	10.039
Acabados	39.793	40.986	42.434	41.366	38.981	44.264
Total	109.401	110.199	116.067	113.558	109.613	122.794

Nota: La tabla define la producción actual promedio diaria en Kg para el año 2021.
Elaboración: Propia.

Tabla 9*Índice Kw/h x Kg Producido*

Sección	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Tejeduría		0,83				
	0,86		0,88	0,87	0,90	0,82
Preparación		0,53				
	0,50		0,47	0,46	0,46	0,44
Embelllecimiento		0,69				
	0,51		0,66	0,64	0,51	0,51
Acabados		0,52				
	0,52		0,53	0,53	0,55	0,50
Total		0,67				
	0,66		0,68	0,67	0,68	0,63

Nota: La tabla define el índice medido en relación al Kw/h consumido por cada Kg producido. Elaboración: Propia.

El índice de medición en Kw/h por kilogramo de la tabla número 9 es un indicador que muestra el consumo de un kilovatio hora por kilogramo procesado y brinda un dato que puede ser usado como el comparativo de los meses anteriores con relación a la producción realizada, en otras palabras, un índice que evalúa la eficiencia energética del proceso entorno a la productividad.

6.1.5.7 Tarifas de energía y costos de consumo en una empresa textil.

Las tarifas en Colombia, principalmente en la zona de Cundinamarca – Bogotá es regulada por resolución emitida por la CREG, y están dadas por las siguientes variables de cobro según la empresa prestadora del servicio (ENel Codensa, 2021) :

- **Generación:** es el costo calculado de acuerdo con las compras de energía.
- **Trasmisión:** Es el costo del transporte de energía en alta tensión, este valor es igual a nivel nacional.

- **Distribución:** es el valor por el transporte de energía en las regiones, en media y alta tensión. Es un valor que depende del nivel de tensión del usuario.
- **Comercialización:** es el valor liquidado por la atención a usuarios finales, incluye facturación, lecturas entre otros.
- **Pérdidas:** es un valor liquidado por pérdidas técnicas originadas en el transporte de energía y por pérdidas no técnicas basadas en el indicador de recuperación de cada operador de red.
- **Restricciones:** es un costo que cubre la indisponibilidad del sistema eléctrico nacional, además del pago a entidades de control y vigilancia como la superintendencia de servicios públicos domiciliarios SSPD y la CREG.
- **Costo Unitario:** es la sumatoria de las variables mencionadas anteriormente, y es el valor total del kilovatio con el que se facturara la energía.

El sector productivo en la zona de Cundinamarca, ha presentado durante el año 2021 las siguientes tarifas de consumo de energía eléctrica:

Tabla 10

Tarifas de Energía Sector Industria Últimos Años

Mes	2019	2020	2021
Enero	289	320	380
Febrero	293	315	385
Marzo	293	330	385
Abril	299	350	394
Mayo	300	360	395
Junio	311	385	409

Nota: La tabla define las tarifas de energía en pesos para la industria colombiana
Elaboración: Propia.

La siguiente tabla muestra el costo de energía promedio de una empresa de producción textil en el año 2021, este dato es sacado según las tarifas de la CREG y la producción promedio según datos históricos.

Tabla 11

Costo de Consumo Eléctrico Promedio Año 2021

Sección	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Tejeduría	389.894.446	403.822.586	431.710.713	426.591.049	416.904.224	448.422.549
Preparación	70.397.655	72.912.460	77.947.820	77.023.436	75.274.424	80.965.237
Embelllecimiento	47.498.664	49.195.451	52.592.906	51.969.206	50.789.114	54.628.816
Acabados	205.096.265	212.422.888	227.092.886	224.399.788	219.304.225	235.883.817
Total	712.887.030	738.353.385	789.344.325	779.983.479	762.271.988	819.900.418

Nota: La tabla define la participación de costos que existen en un proceso de producción textil. Elaboración: Propia

6.1.5.8 Distribución del Costo Textil.

En los procesos productivos es importante saber discriminar los tipos de costos existentes dentro del proceso de fabricación del producto, estos costos pueden ser directos o indirectos según lo muestra la teoría de clasificación del costo, en la siguiente tabla podemos encontrar la participación de los costos y una tipificación que puede ser general encontrados en el proceso de producción textil.

Tabla 12

Participación del Costo de Producción Textil por Tipo

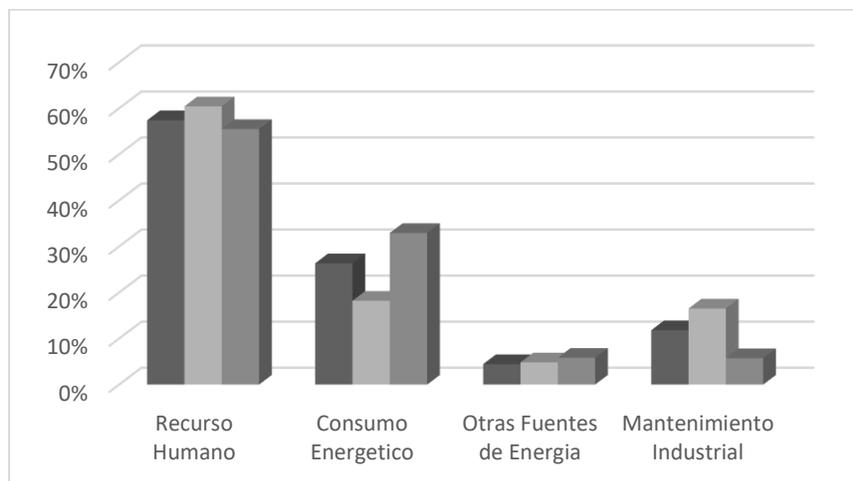
Tipo de Costo	2019	2020	2021
Recurso Humano	57%	60%	56%
Consumo Energético	26%	18%	33%
Otras Fuentes de Energía	4%	5%	6%
Mantenimiento Industrial	12%	17%	6%
Total	100%	100%	100%

Nota: La tabla define la participación de costos que existen en un proceso de producción textil. Elaboración: Propia.

La tabla anterior muestra la participación de cada tipo de elemento dentro de los costos y su porcentaje, en ella se aprecian los 2 grandes rubros dentro de una planta promedio de producción textil están dados en el consumo energético y el recurso humano.

Figura 9

Grafica de Distribución de Costo

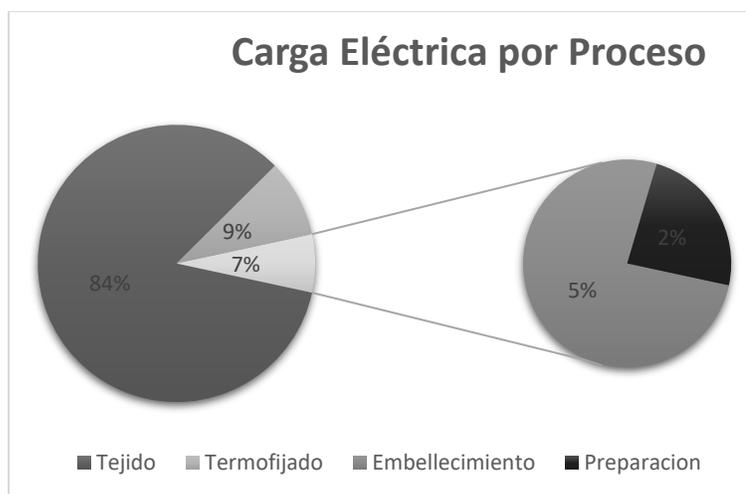


Nota: La Figura define la participación de costos que existen en un proceso de producción textil Elaboración: Propia.

6.1.6 Carga eléctrica del Proceso

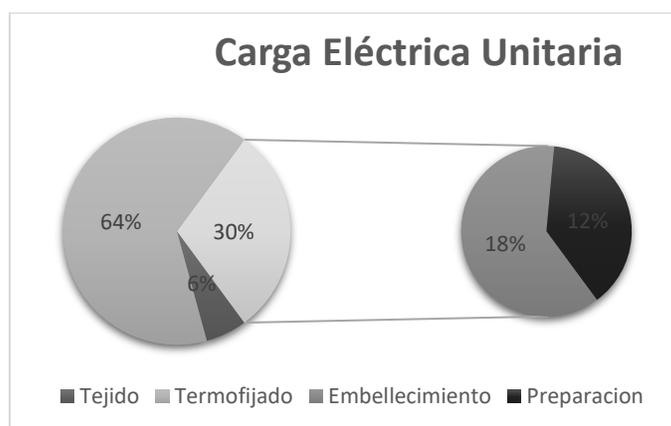
La carga eléctrica en una empresa está dada por la suma del consumo eléctrico de toda su maquinaria, para determinar esto, lo primero que debemos hacer es saber el consumo instalado según la cantidad de máquinas. Esto se logra verificando la cantidad de equipos existentes en una planta de producción textil de tamaño mediano, la carga por maquina se levantó de las fichas técnicas de cada máquina, su placa de fabricantes.

En la siguiente gráfica podemos ver la carga eléctrica por proceso, esta carga es calculada al multiplicar la cantidad de máquinas en cada proceso por su factor de consumo y su uso promedio horas día, este factor de consumo es el establecido por el fabricante de cada máquina.

Figura 6*Carga Eléctrica por Proceso*

Nota: La Figura define la participación en el consumo total de una planta de cada proceso productivo, Elaboración: Propia.

La demanda de carga eléctrica muestra que el proceso de tejido tiene el 84% de la carga total de la empresa, el 9% lo tiene el proceso de termofijado, el 5% el proceso de embellecimiento y por último el proceso de preparación con el 2% de la carga instalada.

Figura 10*Carga Eléctrica Unitaria*

Nota: La Figura define la carga eléctrica unitaria de cada proceso productivo, Elaboración: Propia.

6.2 Análisis de la Información.

6.2.1 Caracterización del Proceso

Para iniciar con el proceso de análisis de la información, lo primero que se resuelve es la metodología propuesta para el objetivo número 1, esto es realizar la caracterización del proceso:

Existen 4 grandes procesos en la industria textil, los cuales tienen un aporte a la carga de consumo eléctrico según la cantidad de maquinaria utilizada, en una empresa de producción textil de tamaño mediano podemos encontrar que los procesos se distribuyen así:

Proceso de tejeduría, la carga de energía en este proceso dependerá de la cantidad de maquinaria utilizada para la fabricación de tejido, para una empresa de tamaño mediano podemos calcular un dato de entre 150 a 350 máquinas de tejeduría, estas máquinas en su proceso consumen energía eléctrica directa en sus componentes mecánicos como motores y tableros eléctricos, aunque su mayor consumo está dado por el uso de aire comprimido, necesario para proveer como un conducto a presión el camino del hilo a las agujas o sistema de agujas de la máquina, también el aire comprimido es usado en las máquinas de tejeduría para limpiar los sistemas de la alta contaminación generada en el proceso.

El proceso de termofijado lo realizan máquinas grande llamada Ramas, esta máquina está compuesta por varios campos enlazados entre sí por un conducto interno, por el que pasa la tela abierta que es expuesta a temperaturas entre los 170 °C y los 220 °C, cada campo está provisto de 2 motores trifásicos de corriente alterna (En adelante CA) cada uno con placa de consumo de 10 Kw/h, esta carga eléctrica es alta por la cantidad de motores que se encuentran instalados en los campos de la máquina, en la mayoría de 8 a 10 campos.

Para el proceso de Embellecimiento se tienen 10 máquinas de tamaño mediano, su funcionamiento es básico pero necesario para dar algún tipo de acabado a la tela.

El área de preparación cuenta, con 5 máquinas para diversidad de procesos según lo que se quiera realizar a cada referencia de la tela.

6.2.2 Estimación de Carga Eléctrica

Para estimar la carga eléctrica del proceso productivo se pueden tomar 2 caminos, el primero es realizar adecuaciones a la red interna de contadores por tipo de proceso, esta red de contadores arrojará mediciones en Kw/h, MGw/h o Gw/h, con estas mediciones se establecen indicadores de consumo por tipo de proceso y con estos indicadores se obtendrá la carga eléctrica del sistema productivo o proceso, lo que se debe tener en cuenta es que esta medida se puede realizar si la infraestructura de la empresa lo permite, en ocasiones no resulta tal fácil la adecuación y compra de contadores para cada máquina, las ventajas de este método de establecimiento de carga eléctrica es que es directo y en tiempo real y que se logra obtener en cada proceso o máquina el su consumo eléctrico.

El segundo paso consiste en la suma nominal de las placas de cada contador, las cuales darán un acercamiento teórico al consumo eléctrico del sistema productivo.

Tabla 13

Generación de Carga Nominal de Una Empresa promedio

Procesos	Tipo de maquinara	Cantidad Promedio	Pn (KW)	Carga Total	Carga Total Día
Tejido	Telar de tipo Circular	150	7	1050	18.900
	Telar de tipo Plano	130	7	910	16.380
	Telar de tipo Tricot	100	8	800	14.400
	Telar de encaje Tricot	20	8	160	2.880
Preparación	Abridora de Crudo	1	7	7	126

	Plegadora	1	6	6	108
	Gaseadora	1	22	22	396
	Lavadora de Plano	1	90	90	1.620
	Lavadora de Percloro	1	60	60	1.080
Termofijado	Ramas	5	230	1150	20.700
Embellecimiento	Jet	2	54	108	1.944
	Tombler	1	15	15	270
	Perchadoras	4	20	80	1.440
	Tundidoras	1	16	16	288
	Esmeriladoras	1	25	25	450
	Compactadora	1	54	54	972

Nota: La tabla define la carga de una empresa promedio sacada por estimación de fabricante: Elaboración: Propia.

Según el número de máquinas con que se cuente se obtendrá la estimación de las cargas, para la estimación de este trabajo se realizó bajo una eficiencia de trabajo del 80% del tiempo en 24 horas.

Haciendo la comparación con la tabla N° 6 de “estimación de carga eléctrica con contadores de una empresa promedio” se obtiene lo siguiente:

Tabla 14

Comparación Métodos de Generación de Carga

Sección	Consumo Día Contadores	Consumo Día Nominal
Tejeduría	41.223	52.560
Preparación	7.443	3.330
Embellecimiento	5.022	5.364
Acabados	21.685	20.700
Total	75.373	81.954

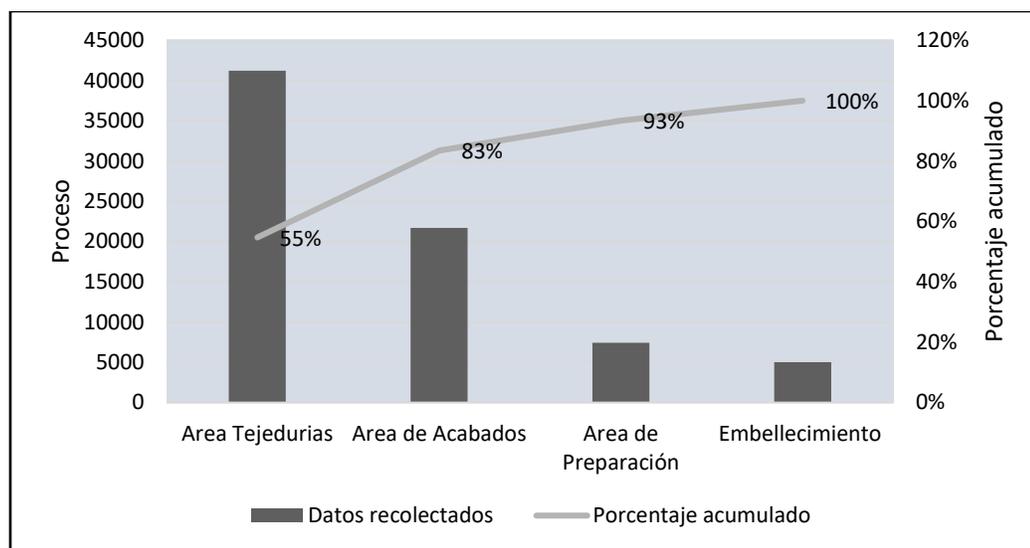
Nota: La tabla compara la carga de una empresa promedio por tipo nominal y con contadores dados por el diagrama unifilar: Elaboración: Propia.

Con este análisis inicial de cargas se evidencia que las áreas de tejeduría y acabados son las de mayor consumo en esta la industria textil, esto debido a su enfoque inicial, pues tienen una gran área de tejeduría con casi 400 máquinas de tejido, lo que resulta en una alta demanda energética, el área de acabados es la segunda de mayor volumen en consumo debido a la particularidad de sus máquinas, con solo 5 su consumo energético es muy elevado.

6.2.3 Diagnóstico de Consumo

Con la estimación de la carga media del proceso y la creación de indicadores de medición por área, podemos evaluar el consumo real del proceso y realizar el diagnóstico de estado actual del consumo en la empresa. Este diagnóstico genera una ruta de trabajo no solo para los procesos productivos sino para los sectores de apoyo a los procesos, según la tabla número 14 de “comparación de métodos de generación de carga” el estado de participación del consumo por área está distribuido de la siguiente manera:

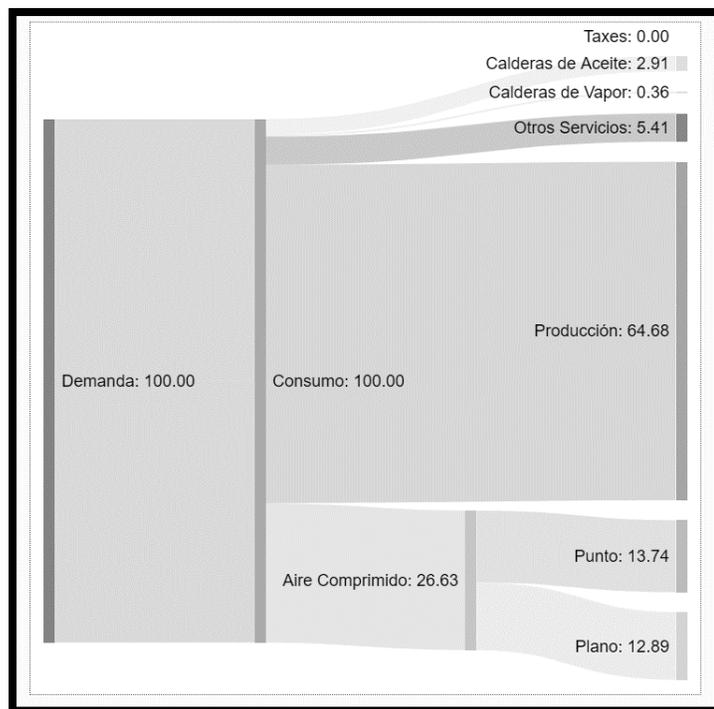
Con 55% el área de tejeduría, con 29% el área de acabados, con el 10% el área de preparación y por último el área de embellecimiento con 7%.

Figura 11*Pareto de Consumo por Área*

Nota: La Figura muestra el Pareto de distribución de la carga eléctrica por proceso, Elaboración: Propia.

6.2.3.1 Diagrama Energético Productivo del Sector Textil

Para la elaboración del diagrama energético productivo del sector, se toma como base la caracterización del consumo energético de la industria, este diagrama basado en la empresa estudiada arrojó el siguiente resultado:

Figura 12*Diagrama Sankey Empresa en Estudio*

Nota: La Figura muestra el diagrama Sankey de la empresa en estudio. Elaboración: Propia.

Este diagrama permite visualizar la distribución de las diferentes formas de consumo energético de la empresa, su separación por tipo según la energía consumida en el proceso, los servicios y las demás fuentes de demanda energética.

Claramente se observa que el 26,63% de la energía es consumida en la generación de aire comprimido, el 64,68% está en la carga directa del sistema productivo y el restante distribuido en otros tipos de generación de energía térmica.

6.2.4 Calidad de energía

La medición de calidad de la energía en un sistema busca encontrar alguna falla en la energía suministrada que permita suponer que existen problemas en el fluido eléctrico, estos problemas pueden deberse a: Presencia de armónicos en el sistema, picos o elevaciones, caídas de tensión y/o sobretensiones transitorias, posteriormente el análisis presenta un informe donde se muestran las conclusiones y recomendaciones dadas por la empresa y el análisis de redes eléctricas, este informe muestra los siguientes análisis:

Resumen de violaciones a la norma de energía y consumo de la planta, estado actual de las instalaciones eléctricas y disturbios existentes en las líneas de conexión. Cada empresa debe verificar previo al análisis de calidad de la energía donde quiere realizar el estudio, lo usualmente recomendado son los transformadores, los tableros eléctricos y por último las máquinas más representativas según consumo eléctrico.

El estudio se realiza con equipos de medición trifásicos dotados de sensores de corriente de diferentes capacidades según el sistema requerido en medición, este equipo es conectado al sistema de análisis, emite señales por un rango de tiempo corto (segundos), durante un periodo de entre 24 y 72 o más horas según se requiera, estas señales son de intensidad alta. Media y promedio entre ellas.

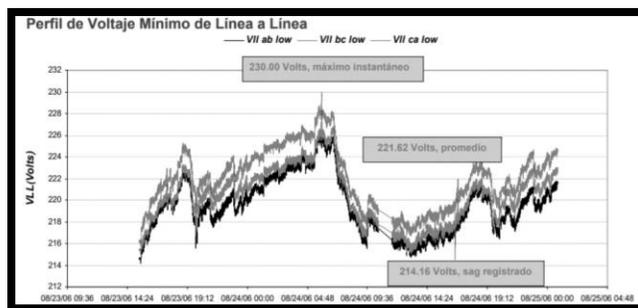
En el análisis de calidad las variables a medir son:

6.2.4.1 Perfil de voltaje mínimo y máximo de línea

Se mide el perfil de voltaje durante el tiempo de análisis, posteriormente se toma el promedio de voltaje máximo y mínimo del sistema, el cual se compara con el valor nominal del transformador, se dice que según la norma la variación no puede ser mayor o menor al 5% del valor nominal según sea el caso del perfil máximo o mínimo.

Figura 13

Perfil de Voltaje de una empresa



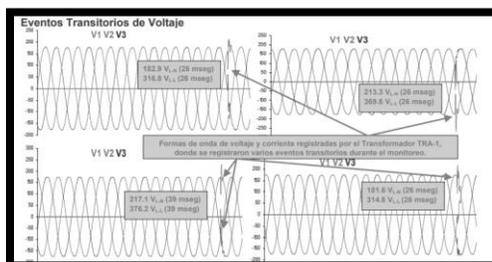
Nota: La Figura muestra una gráfica de perfil de voltaje según el análisis de calidad de energía. Elaboración: (Secovi, 2021)

6.2.4.2 Formas de onda, voltaje y corriente

Las gráficas de forma de onda y voltaje, al igual que los de eventos transitorios muestran las distorsiones armónicas de las ondas eléctricas, las cuales señalan los picos o impulsos existentes en el sistema, se dice que las existencias de estos pulsos son los causantes de los daños más graves en los sistemas electrónicos de una industria, por esta razón si el estudio arroja muchos impulsos en su rango de medición, la empresa deberá buscar una alternativa para suprimir o reducir estos impulsos.

Figura 14

Gráfica de eventos transitorios o Impulsos



Nota: La Figura muestra una gráfica de eventos transitorios de voltaje según el análisis de calidad de energía. Elaboración: (Secovi, 2021)

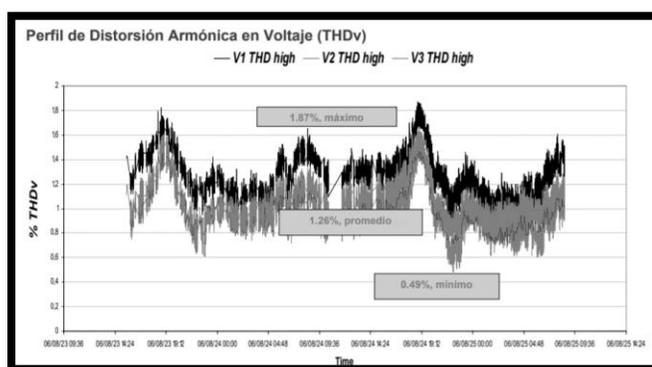
6.2.4.3 Perfil de distorsión armónica de voltaje/corriente

Este perfil de distorsión muestra que los armónicos son frecuencias múltiplos de la frecuencia base o fundamental de trabajo del sistema, en las instalaciones eléctricas estos armónicos representan corrientes que generan efectos negativos en el sistema.

Estos efectos negativos pueden ser sobrecalentamiento de los transformadores, disparos de los interruptores automáticos, sobre carga de los condensadores entre otros.

Figura 15

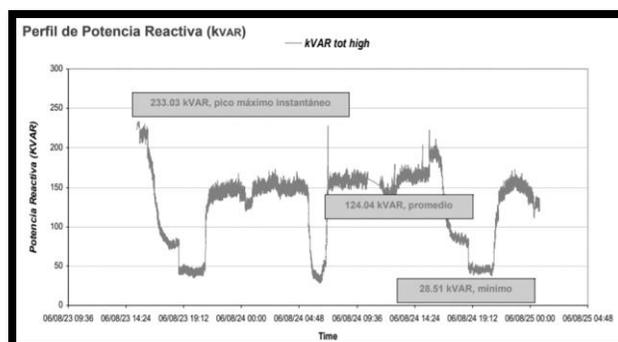
Gráfica de medición de armónicos



Nota: La Figura muestra una gráfica de medición de armónicos. Elaboración: (Secovi, 2021)

6.2.4.4 Perfil de potencia reactiva

Para un sistema eléctrico amplio y más para una planta de producción industrial es necesario la medición de la potencia reactiva, la potencia reactiva o energía reactiva es producida por todos los sistemas pero a diferencia de la potencia activa esta no genera algún trabajo útil, en pocas palabras es una energía desperdiciada por el sistema, por esta razón es importante medir su generación, para que no sobre pase los límites permitidos por la empresa prestadora del servicio, de lo contrario se podrían acarrear grandes sanciones económicas.

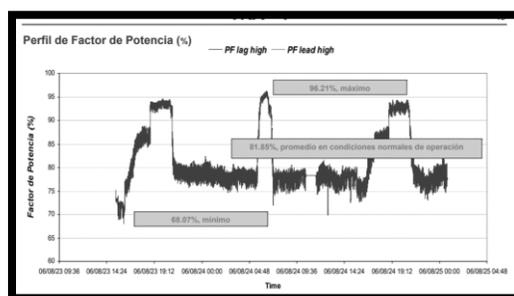
Figura 16*Gráfica de energía reactiva*

Nota: La Figura muestra una gráfica de medición de la energía reactiva. Elaboración: (Secovi, 2021)

6.2.4.5 Factor de potencia

El factor de potencia se conoce como la relación que existe entre la potencia activa P y la potencia aparente S, y su resultado muestra la medida de capacidad que tiene una carga de absorber potencia activa, la ecuación del factor de potencia está dada por:

$$f. d. p = \frac{P}{S}$$

Figura 17*Gráfica factor de potencia*

Nota: La Figura muestra una gráfica de medición del factor de potencia. Elaboración: (Secovi, 2021)

Según sea el caso, si un factor de potencia en estado normal de producción es menor de 100% en estado inductivo con mínimos por debajo del 80% se dice que el sistema está generando una potencia reactiva alta, lo cual lleva a asumir que estos son contraproducentes para el costo de la operación.

En estos casos la mejora propuesta es un sistema que corrija estos valores y los acerque al 100% deseado o compense los valores de factores de potencia, podría ser utilizar compensadores para aportar potencia en kilo voltamperios.

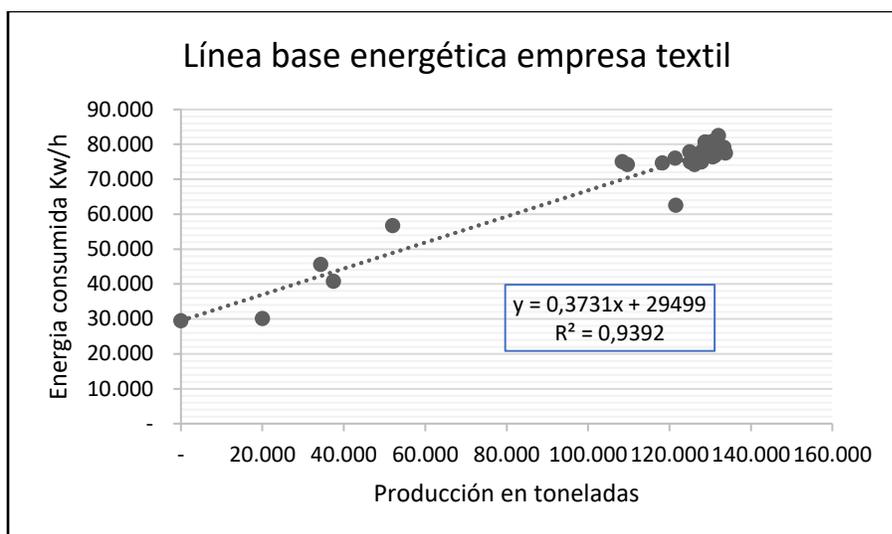
6.2.5 Análisis de criticidad

Una vez desarrollado el informe de calidad de la energía y hecho el diagnóstico de consumos, podemos generar un análisis de criticidad de las áreas, equipos y componentes, que permita la priorización de las estrategias en cada proceso.

Para realizar este análisis de criticidad lo primero que de desarrollo es una herramienta sugerida por la norma NTC ISO 50001, el análisis de regresión lineal con el objetivo de construir un indicador que muestre la línea base del consumo en la empresa y con la cual se espera medir todas las mejoras propuestas que apliquen para el modelo de eficiencia energética.

6.2.5.1 Análisis de regresión lineal

Tomando la producción realizada en un tiempo determinado, el cual puede ser días, horas, meses o años se genera por el método de regresión lineal la línea base energética, está compuesta por la ecuación de la línea base para la empresa en estudio.

Figura 18*Línea base energética*

Nota: La Figura muestra una gráfica de la línea base energética para la empresa en estudio. Elaboración: Propia

La ecuación de la línea base energética para esta empresa arrojó un R^2 de 93.92, lo cual quiere decir que la variable del eje Y, en este caso la energía consumida esta explicada con una alta precisión en el modelo de regresión lineal.

Esta ecuación se conoce puede leer de la siguiente manera: $E = m * P + E^{\circ}$

Donde:

E = Consumo total de energía

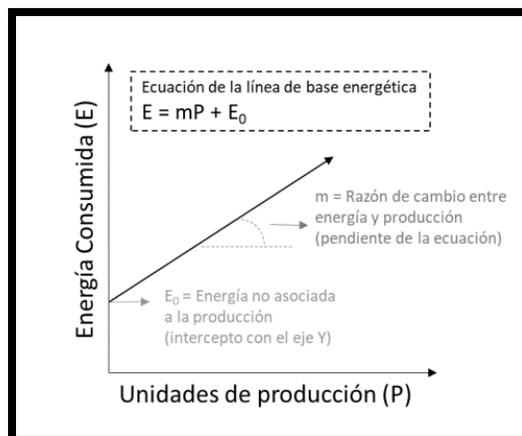
E° = Valor medio de la energía no asociada a la producción

m = Índice de consumo de transformación de materia prima en el proceso

P = Cantidad de producto procesado

Figura 19

Elementos de una línea de base energética



Nota: La Figura muestra los elementos de una línea de base energética. Elaboración: (RECIEE, 2018)

6.2.6 Análisis de causas de sobre consumo energético.

Con el análisis de criticidad del consumo se procede a analizar las causas que están generando los altos consumos de energía eléctrica, la herramienta utilizada para el análisis de estas causas es un diagrama de afinidad, se crearon 2 diagramas de afinidad, el primero buscando respuestas a que procesos están generando el alto consumo energético en la empresa y el segundo a las causas probables de generación y/o pérdidas posibles en los procesos.

Figura 20*Diagrama de afinidad proceso*

Diagrama de afinidad

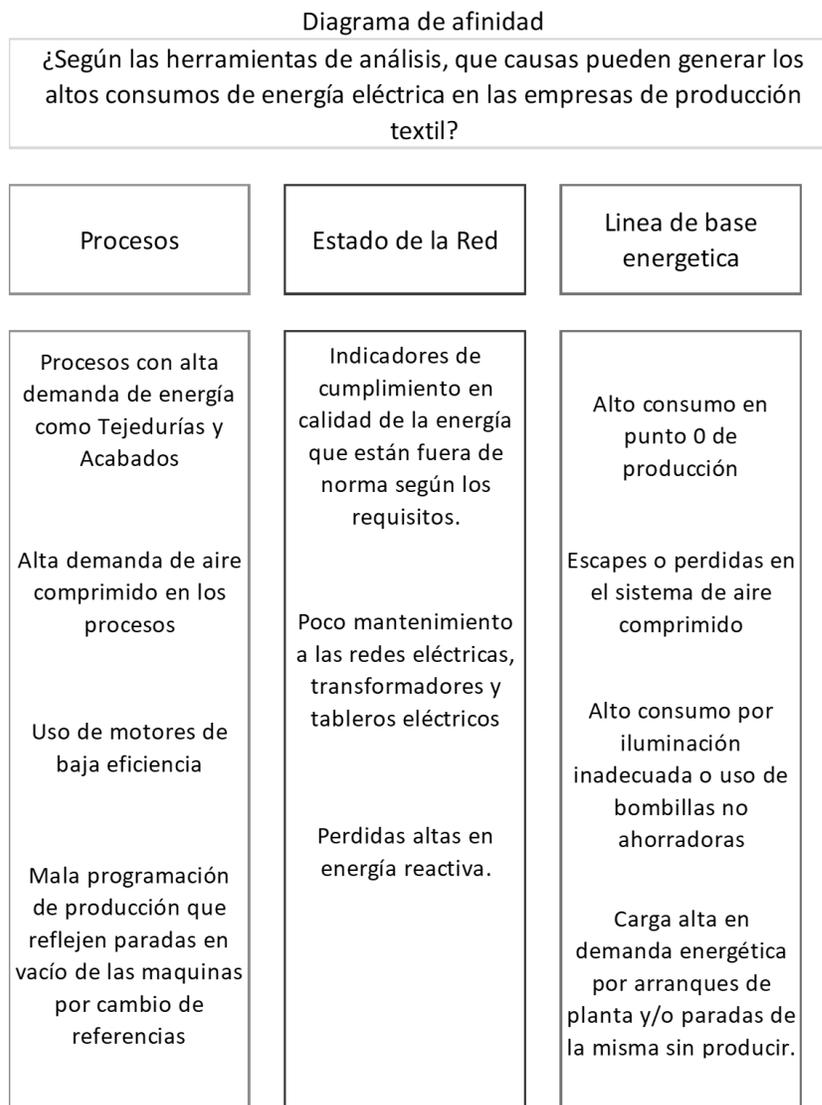
¿Qué procesos dentro del análisis energético textil que pueden generar altos consumos de energía eléctrica?				
Caracterización del Proceso	Carga Eléctrica	Diagnóstico de Consumo	Calidad de Energía	Análisis de Criticidad
<p>DA1: El área de termo fijado o acabado se muestra como una de las de mayor consumo por índice unitario de carga por máquina con el 64%.</p> <p>DA2: El área de Tejido por la cantidad de máquinas se ocupa el segundo lugar con un 30% de la carga unitaria.</p>	<p>Una empresa promedio tiene un índice de carga mayor según la cantidad de maquinaria utilizada.</p> <p>Tejeduría: 41.223 Kw/h Acabados: 21.685 Kw/h</p>	<p>Tejeduría: 55% consumo Acabados: 29% consumo.</p> <p>Según el diagrama Sankey los mayores consumidores de energía eléctrica son: producción con 64.68% y aire comprimido con 26.63%.</p>	<p>Una sobre distribución de cargas en el voltaje de los transformadores</p> <p>Algún evento o suceso que no cumpla con las exigencias de calidad de energía para un proceso de producción.</p> <p>Sobre voltaje, Impulsos o picos existentes en el sistema, distorsión armónica irregular, alta generación de potencia reactiva, un factor de potencia bajo.</p>	<p>Según la ecuación base de la línea energética existe un valor medio de la energía no asociada a la producción, para el caso de la empresa en estudio es muy alto, por encima de 29.499 Kw/h.</p> <p>la energía no asociada a la producción puede deberse a temas de alta consumo en iluminación, escapes del sistema de aire comprimido uso de motores de baja eficiencia.</p>

Nota: La Figura muestra el diagrama de afinidad de los procesos con mayor consumo. Elaboración: Propia

Con el segundo diagrama de afinidad se tratan las causas que pueden generar un alto consumo, con estos diagramas de afinidad se trabaja la propuesta de solución.

Figura 21

Diagrama de afinidad causas de alto consumo



Nota: La Figura muestra el diagrama de afinidad de causas por altos consumos. Elaboración: Propia

6.2.7 Análisis estratégico de consumo energético

Este análisis DOFA se genera para identificar las estrategias más adecuadas para la problemática de consumo energético y costos altos de producción, se detallan los diferentes tipos de estrategias a proponer, estas pueden ser de éxito, las cuales se detallan en las estrategias de tipo FO, las de reacción de tipo FA, las de adaptación de tipo DO y por ultimo las estrategias de supervivencia dadas por las de tipo DA, la Figura 22 muestra las estrategias obtenidas según la metodología DOFA.

Figura 22

Análisis estratégico de consumo energético del sector textil

MATRIZ DOFA: Planificación Estratégica Disminución de Consumo Energético	FORTALEZAS	DEBILIDADES
		<p>F1- Identificación Clara de procesos con mayor demanda energética.</p> <p>F2- Herramientas de análisis de energía adecuadas y confiables como el informe de calidad de energía.</p> <p>F3- Compromiso de la gerencia con la implementación de planes de eficiencia energética.</p>
OPORTUNIDADES	ESTRATEGIAS FO (De Éxito)	ESTRATEGIAS DO (De Adaptación)
<p>O1- Herramientas ya utilizadas con éxito en otros sectores como la línea de base energética.</p> <p>O2- Identificación del punto 0 según la línea de base energética que permitiría costear cualquier proyecto de eficiencia energética.</p> <p>O3- Generación de incentivos tributarios por la implementación de modelos de gestión de la energía.</p>	<p>F1/O2- Implementar la línea de base energética a los procesos con mayor consumo, permitiendo así un costeo de los proyectos de mejora y una reducción considerable al parteo de consumo energético del sector.</p> <p>F2/O3- Con el informe de calidad energética se dará inicio a propuestas de eficiencia energética que permitan vincular al sector con los incentivos tributarios de la región.</p>	<p>D1/O1- Implementar mejores indicadores de seguimiento al consumo y su producción utilizando las nuevas herramientas como la línea de base energética.</p> <p>D2/O3- Desarrollar planes que permitan la disminución del consumo de aire comprimido en el sector textil.</p> <p>D3/O2- Implementar estrategias que mitiguen el factor de consumo estático, y que sean medibles según la ecuación de la línea de base energética.</p>
AMENAZAS	ESTRATEGIAS FA (De Reaccion)	ESTRATEGIAS DA (De Supervivencia)
<p>A1- Uno de los sistemas tarifarios más altos de la región, tarifas reguladas altas para el 2021.</p> <p>A2- Empresas del sector con mejores sistemas de eficiencia energética, que les permita competir con mejores precios dado su bajo costo operacional.</p> <p>A3- Productos textiles más económicos que ingresan al país con aranceles bajos.</p>	<p>F3/A1-A2-A3- Disminución de costo operacional al generar planes de eficiencia energética, mejoras en los indicadores de facturas de energía.</p>	<p>D1/A1-A3- Asociaciones gremiales del país que busquen y exijan al gobierno una protección al producto interno por el ingreso de productos de contrabando y sin aranceles.</p> <p>D2/A3- Estrategias de disminución de aire comprimido, que permita aumento de producción mientras se disminuye el consumo de aire comprimido</p>

Nota: La Figura muestra el DOFA generado por el consumo energético del sector textil. Elaboración: Propia

6.3 Propuesta de Solución

Según las herramientas usadas dentro del análisis de información, para el sector textil se cuenta con una gran variedad de herramientas, métodos y propuestas para mejorar indicadores de desempeño energético mientras al mismo tiempo se suben los indicadores de productividad y se disminuye el gasto operacional. Lo anterior implica que se debe tener especial atención en la selección del método o propuesta de solución, esto dependerá de cada caso en cada empresa, específicamente, en el desarrollo de este trabajo condujo a sugerir una implementación paso a paso de las diferentes herramientas de solución, lo cual se explican a continuación:

6.3.1 análisis de calidad de energía.

Para el presente proyecto se enumera esta herramienta o informe de análisis como el primero que se debe desarrollar, pues es con esta herramienta que se mide si las entradas o salidas al proceso productivo en cuanto a energía eléctrica esta optimizado o si de lo contrario se requiere de algún mantenimiento en las redes, tableros, máquinas y sub-estaciones.

Si una empresa muestra un indicador de calidad de la energía fuera de los parámetros establecidos o requeridos este se deberá atender de manera inmediata ya que se supone un desperdicio de energía y cualquier proyecto de mejora se deberá tomar como una inversión.

6.3.2 Desarrollar indicadores de línea de base energética.

Como se mencionó en secciones anteriores, los indicadores convencionales pueden llegar a presentar problemas de interpretación debido a que sus variables son muy susceptibles a eventos dependientes, como el caso de los índices de consumo por volumen de producción, o el indicador de consumo por periodo evaluado, son indicadores que no permiten evaluar los modelos o las propuestas de eficiencia energética, para el presente trabajo se desarrolló el

indicador de línea de base energética, el cual genera un amplio análisis en su interpretación ya que permite mostrar los datos y proyectarlos a una posible mejora según el proyecto que se implemente, es un indicador generado por el método de regresión lineal, con la ecuación de la gráfica del eje Y que analiza el comportamiento del consumo energético según la producción realizada.

Lo más importante de este indicador es que permite obtener la medida de generación del consumo con niveles de producción 0, esta proyección ayuda a las empresas a verificar si los factores estáticos demandan niveles altos de energía, para el caso de la empresa en estudio, el indicador en niveles de producción 0 arrojó un consumo de 29.499 Kw/h día de consumo con 0 kilos producidos, lo que supone un gasto de \$12.065.091 por carga eléctrica consumida sin generar utilidades por fabricación de producto.

6.3.3 Eliminación de desperdicios “Disminución de fugas”.

El aire comprimido es uno de los sistemas más costosos de las industrias pues su demanda energética es muy alta, para la empresa analizada se estimó que el 26.63% del consumo total de la energía se destina a la generación de aire comprimido. Si por otro lado se toma el dato de \$12.065.091 de factores estáticos que están generando alto consumo se puede plantear la eliminación y/o mitigación de las fugas de aire como un proyecto de inversión, esto depende de cada empresa y el diagnóstico de línea base y de fugas de aire en su sistema, este diagnóstico se puede realizar de la siguiente manera:

Realizar auditorías al sistema neumático, buscando fugas de aire, estas auditorías se pueden realizar por personal experto (consultores o técnicos de plantilla) en el tema, equipos de mantenimiento y especialistas. Junto a estas auditorías es válido utilizar herramientas de medición como pistolas de ultrasonido, estas, especialmente construidas para detectar las

variaciones de ondas y ruidos como los siseos del aire, otras herramientas que aportan a mejorar el desempeño son el uso de manómetros en los sistemas conectados a máquinas o herramientas, adicional, unidades de mantenimiento FRL (filtro, regulador, lubricador), lo cual permitirá la detención de variaciones en la presión del aire ocasionado por fugas o escapes.

6.3.4 Cambio de elementos de iluminación.

Otro de los factores estáticos adicional a los escapes o fugas no detectados, son los costos de iluminación de las bodegas de producción, según el tamaño de las bodegas será el consumo de energía del sistema y más si se utilizan bombillas no ahorradoras en el sistema.

Tabla 15

Consumo eléctrico mes por bodega

BODEGA	Kw/h mes
ILUMINACION BODEGA 1	7.812
ILUMINACION BODEGA 2	9.464
ILUMINACION BODEGA 3	7.718
ILUMINACION BODEGA 4	8.331
ILUMINACION BODEGA 5	8.271

Nota: La tabla muestra el consumo eléctrico en el sistema de iluminación de la empresa en estudio. Elaboración: Propia

El consumo total al mes para una empresa textil de tamaño mediano se estima según esta tabla en 41.596 Kw/h, lo que genera un costo de \$17.012.764, Si estimamos el consumo anual por el uso de diferentes tipos de lámparas tendríamos lo siguiente:

Energía consumida por cada tipo de lámpara se calcula: $E = P * t$

Donde:

E = Energía consumida

P = Potencia de consumo

t = Tiempo de trabajo

para esta propuesta se estiman 3 tipos de lámparas usadas comúnmente, la lámpara incandescente con una potencia de 25 W (vatios), la lámpara de bajo consumo con una potencia de 8 W y las lámparas tipo LED con potencias de 5 W.

la estimación del consumo anual está dada de la siguiente manera:

Lámpara incandescente:

$$E = 40W * 12 \frac{\text{horas}}{\text{dia}} * 360 = 172.8 \frac{Kw}{h}$$

Lámpara de bajo consumo:

$$E = 9W * 12 \frac{\text{horas}}{\text{dia}} * 360 = 38.88 \frac{Kw}{h}$$

Lámpara LED

$$E = 5W * 12 \frac{\text{horas}}{\text{dia}} * 360 = 21.6 \frac{Kw}{h}$$

Si se tiene en cuenta que la tarifa media de energía para el sector industrial en el primer semestre del año 2021 es de 409, el valor del consumo por tipo de lámpara año es:

Incandescente: \$ 70.675

Bajo consumo: \$ 15.901

LED: \$ 8.834

Por consiguiente, el uso de lámparas LED representa un menor consumo energético.

6.3.5 Diagnóstico de motores convencionales por motores de alta eficiencia.

según la caracterización de los procesos, las áreas de mayor demanda energética son la de tejeduría y la de acabados, según la carga por máquina definida se tiene que cada máquina del área de acabados tiene una carga de 230 Kw/hora debido a su construcción y a que es la máquina que más motores eléctricos tiene, cada uno con una potencia media de 10 Kw, se estima que los motores de alta eficiencia o IE comparados con los motores convencionales tienen la siguiente relación:

Tabla 16

Tipo de eficiencia por tipo de motor

Tipo de motor	Eficiencia	Potencia
Estándar	84-85%	10 Kw
Alta eficiencia	90-90.5%	10 Kw
Premium	91-92%	10 Kw

Nota: La tabla muestra la comparación de la eficiencia en un motor de potencia de 10 kW. Elaboración: propia basado en: (Programa integral de asistencia técnica y capacitación para la formación de especialistas en ahorro, 2010)

Con estos datos se calcula el costo del consumo energético de cada motor al año:

Usando nuevamente la ecuación de la energía consumida:

Energía consumida por cada tipo de lámpara se calcula: $E = P * t$

Donde:

E = Energía consumida

P = Potencia de consumo

t = Tiempo de trabajo

Pero para este caso le adicionamos la eficiencia de cada motor según la placa de fabricante:

$$E = \frac{P * t}{\%Efi}$$

La energía al año consumida de cada motor queda:

Motor estándar:

$$E = \frac{10Kw * 8064 \text{ horas}}{0.84} = 96.000 Kw/h$$

Motor de alta eficiencia:

$$E = \frac{10Kw * 8064 \text{ horas}}{0.90} = 89.600 Kw/h$$

Motor de Premium:

$$E = \frac{10Kw * 8064 \text{ horas}}{0.91} = 88.615 Kw/h$$

Completando la tabla de costo de energía consumida por motores convencionales y el comparativo con los motores de alta eficiencia tenemos:

Tabla 17

Costo de consumo energético por tipo de motor

Tipo de motor	Eficiencia	Potencia	Consumo Anual Kw/h	Costo Kw/h Anual
Estándar	84-85%	10 Kw	96.000	39.264.000
Alta eficiencia	90-90.5%	10 Kw	89.600	36.646.400
Premium	91-92%	10 Kw	88.615	36.243.535

Nota: La tabla muestra el costo de la energía consumida al año en un motor de potencia de 10 kW y su comparación con los 3 tipos genéricos. Elaboración: propia.

Se evidencia en el análisis que la diferencia en ahorro para un periodo de un año de los 3 tipos de motores está en 6.66% para los motores de alta eficiencia y Premium.

7 Impactos esperados

7.1 Impactos Esperados

Con las propuestas generadas se espera dar un enfoque a compañías del sector textil que requieran mejorar su consumo energético, esto dependerá de las mejoras e inversiones que se quieren alcanzar y del diagnóstico en particular de cada empresa, con este trabajo se enmarca la ruta que puede tomar una empresa para mejorar su desempeño energético, logrando aumentar su eficiencia y estableciendo una línea base de consumo que mida planes de ahorro, según la decisión tomada.

7.1.1 En cuanto a la iluminación

Una empresa que tenga un alto consumo en sistemas de iluminación y que utilice lámparas tipo incandescente puede llegar a tener un ahorro del 87% en consumo (sin tener en cuenta factores de inversión) solo con la decisión de cambio por lámparas tipo LED.

7.1.2 Respecto al análisis de calidad de energía

El análisis de calidad de energía brinda un enfoque global de la energía distribuida en los equipos desde los transformadores, mostrando indicadores de pérdidas de energía por armónicos elevados, desperdicio de energía activa por aumento de la reactiva, también ayuda a la empresa a asegurarse que sus sistemas y redes eléctricas están aprovechando al máximo la energía entrante al sistema y que sus pérdidas son mínimas. El estudio de calidad de energía también tiene beneficios en cuanto la prevención en el cuidado de los equipos electrónicos, estos equipos son

muy sensibles a altibajos e inestabilidades de las cargas entrantes, y adicional a su costo en el mercado.

Por otro lado, los planes de eliminación de fugas de aire comprimido en las máquinas de producción, suscitan directamente un ahorro en el consumo energético, este dependerá de la cantidad de fugas existentes en cada una de las plantas, para lo cual se propone el diagnóstico de la red, aun así, el consumo en este tipo de plantas se calcula en un 26.63% de la energía demandada por consiguiente el impacto esperado es alto.

7.1.3 De la implementación de motores de alta eficiencia

La implementación de motores de alta eficiencia representa para cualquier empresa una alta inversión y dependerá de los motores usados actualmente y su consumo energético, un motor de corriente alterna convencional de 10 kw de 440, comparado con un motor de alta eficiencia utilizara mayor consumo energético por poca eficiencia, el ahorro anual de un motor de alta eficiencia es del 6.66% según la tabla N° 17 de costo del consumo por tipo de motor.

Estos impactos se esperan puedan ser medidos si la empresa también cambia su forma de medir la energía y adopta la ecuación de la línea base energética, con esta ecuación se pueden medir la eficiencia de los planes de mejora propuestas en el numeral 6.3 de este proyecto de investigación.

7.2 Impactos Alcanzados

Con el presente proyecto los impactos alcanzados se enmarcan en la generación de estrategias que pueden ser usadas por diferentes tipos y tamaños de empresas, y que no necesariamente deben implementarse a la vez, y ninguna de las estrategias necesariamente prevalece sobre otra, todo dependerá del diagnóstico de cada empresa y su objetivo, por

consiguiente, una empresa que requiera realizar ahorro energético puede intervenir las redes de aire comprimido eliminando fugas que en ocasiones son imperceptibles, o podrá cambiar en sus instalaciones la iluminación convencional por iluminación led. Si lo que se quiere es generar planes de eficiencia energética se deberá iniciar con un análisis de calidad de la red, posteriormente se podrán sustituir los motores de tipo convencional por motores de alta eficiencia.

Finalmente este proyecto ofrece un enfoque y presenta una ruta a modo de metodología en la mejora de la eficiencia energética de las industrias textiles en Colombia, teniendo en cuenta que el uso eficiencia de los recursos determinan la fortaleza de las industrias en su entorno económico y competitivo.

8 Análisis Financiero

8.1 Análisis de Calidad de Energía

Este análisis es desarrollado por compañías prestadoras de servicios de auditoría y calidad de redes eléctricas, el costo de este estudio depende del tamaño y el alcance que se busque, la tabla siguiente muestra un costo estimado del estudio en una empresa de producción de tamaño mediano:

Tabla 18

Auditoría y Medición de Energía

Auditoría y Medición de Calidad y/o Eficiencia de Energía	
Items	Costo
Dimensionados de plantas	\$ 500.000
Diagnóstico de posibilidades de ahorro	\$ 300.000
Verificación de nivel de Armónicos	\$ 1.000.000
Mediciones de calidad de energía	\$ 1.500.000

Diseño de bancos de condensadores	\$ 4.500.000
Mediciones de eficiencia energética	\$ 1.500.000

Nota: se presentan los rubros a tener en cuenta dentro de un estudio de eficiencia energética en la empresa bajo estudio, fuente: el autor

Se estima que el análisis de calidad de la energía en una empresa de tipo mediano sin el diseño del banco de condensadores esta alrededor de 4.800.000, y su análisis de inversión dependerá de los hallazgos encontrados, en todo caso es aconsejable realizar este tipo de análisis a las redes una vez al año, así sea para verificar que los parámetros de los índices se encuentren en los estándares aceptados por la regulación.

8.1.1 ROI Análisis de calidad de energía

Tabla 19

Costos Calidad de energía

Costos de Análisis de calidad de la energía	
Items	Inversión
Dimensionados de plantas	\$ 500.000
Diagnóstico de posibilidades de ahorro	\$ 300.000
Verificación de nivel de Armónicos	\$ 1.000.000
Mediciones de calidad de energía	\$ 1.500.000
Diseño de bancos de condensadores	\$ 4.500.000
Mediciones de eficiencia energetica	\$ 1.500.000
Inversión total incluye banco de condensadores y eliminación de armónicos	\$ 9.300.000

Nota: La tabla muestra el costo un análisis promedio de energía. Elaboración: propia.

Otro de los elementos tenidos en cuenta para el programa son los costos asociados a la mala calidad de energía.

Tabla 20*Gastos asociados a una mala calidad de la energía*

Gastos asociados a una mala calidad de energía	
Compra de tarjetas por sobre picos de energía	\$ 4.500.000
Compra de pantallas electrónicas quemadas	\$ 3.500.000
Compra otros daños por calidad de energía	\$ 10.000.000
Posible penalización por alto consumo de reactiva	\$ 4.800.000
Posible penalización por alto consumo de reactiva segundo año	\$ 35.600.000
Total costo por mala energía primer año	\$ 22.800.000
Total costo por mala energía primer año	\$ 58.400.000

Nota: La tabla muestra el gasto promedio que tiene una compañía al tener una mala calidad de la energía.
Elaboración: propia.

Con estas tablas se procede a calcular el ROI de la calidad de la energía para el primer año:

$$ROI = \frac{22.800.000 - 9.300.000}{9.300.000} \% = 145.16 \%$$

Para el segundo año por regulación de la CREG 015 de 2018 la penalización por alto consumo de reactiva se refleja el factor multiplicador, lo que da como resultado un alto costo en penalización, para el caso ejemplo de este ejercicio es 35.600.000 suponiendo que la penalización mensual es de 400.000 mil pesos.

El cálculo del ROI queda:

$$ROI = \frac{58.400.000 - 9.300.000}{9.300.000} \% = 527.95 \%$$

En cualquiera de los dos casos se puede decir que un análisis de calidad de energía anual es conveniente para evitar sobre costos.

8.2 Cambio de elementos de iluminación.

Inversión del cambio de elementos de iluminación dependerá del área que se tenga, actualmente una luminaria de tipo LED ahorrativa para planta de producción tiene valores entre los 150,000 a 250,000 según la cantidad de lúmenes y la calidad del elemento, para una empresa de tamaño mediano con bodega repartidas en un área de 10,000 mts² puede llegar a requerir unas 600 unidades de luminarias tipo led.

Tabla 21

Cantidad Iluminarias por Área

Referencia	Cantidad Und	Área Mts ²	Valor Unt
Luminaria tipo LED 2 tubos	100	1500	150.000

Nota: se calcula la cantidad de luminarias necesarias y su costo Fuente: Elaboración propia

Para esta planta de tamaño mediano la inversión estará entre los 90,000,000 a los 130,000,000 millones de pesos solo las luminarias, teniendo en cuenta que las redes que se usarían son las que ya existen en cada planta.

8.2.1 ROI Cambio de luminarias.

Para el cálculo del ROI se tiene claridad en que la inversión inicial sin costos de instalación ni de re cambio de luminarias es de \$ 90.000.000, ahora para el cálculo de los ahorros obtenidos se deben verificar los datos obtenidos con las fórmulas del numeral 6.3.4 al comparar el consumo por tipo de luminaria.

Luminaria Incandescente común consumo anual es de: 172.8 Kw/h

Luminaria LED consumo anual es de: 21.6 Kw/h

De considerarse el consumo como factor de ahorro para la inversión y establecer la relación de ahorro al año del total de las 600 luminarias que se requieren para el tamaño de la empresa, obtenemos que el consumo energético ahorrado por usar las luminarias LED en un año es de 90.720 Kw/h

El ROI se calculará de la siguiente manera:

$$ROI \text{ 1 año} = \frac{\left(90.720 \frac{KW}{H} * \$ 409 Kw\right) - (90.000.000)}{90.000.000} \% = -58.77\%$$

Para este caso en un periodo de un año no se alcanza a recuperar la inversión, por lo tanto, recurrimos a la vida útil de una lámpara LED, la cual está en promedio de 4 a 5 años, con este dato procedemos a calcular el ROI nuevamente.

$$ROI \text{ 5 años} = \frac{\left(90.720 \frac{KW}{H} * \$ 409 Kw\right) * 5 - (90.000.000)}{90.000.000} \% = 106.136\%$$

Para este modelo al 5 año de la inversión el ROI es del 106 % lo cual es adecuado porque no solo supuso un ahorro en energía eléctrica sino una inversión para la compañía.

$$Punto \text{ de equilibrio} = \frac{90,000,000}{37,104,480} = 2,42 \text{ Años}$$

8.3 Planes de eliminación de fugas de aire comprimido.

La inversión de los planes de eliminación de fugas dependerá del estado de cada área, es una inversión mínima con relación al ahorro que se puede alcanzar, dentro de los elementos utilizados en los procesos de eliminación de fugas y sus costos están los siguientes:

Tabla 22*Valores de elementos de corrección de fugas aire comprimido*

Elemento	Marca	Valor	Cantidad
Racor neumático 1/2	Festo	7.123	1
Racor recto	Festo	19.000	1
Racor de 90°	Festo	8.333	1
Manguera	Festo	450.000	200 mts
Acople rápido	Festo	11.700	1

Nota: La tabla muestra el costo de los elementos usados en escapes y correcciones de fugas de aire en una empresa de producción textil. Elaboración: propia.

8.3.1 ROI Eliminación de fugas

Para poder obtener el modelo de la inversión para la propuesta de eliminación de escapes por fugas de aire comprimido lo primero que debemos hacer es cuantificar el gasto de aire por fugas y tamaño de fugas existentes.

Lo primero que se debe hacer es diagnosticar en cada sector el número de fugas y su tamaño en pulgadas, la siguiente tabla muestra un diagnóstico inicial realizado a una sola máquina de la sección de acabados.

Tabla 23*Fugas encontradas en una máquina de acabados*

Diagnostico fugas máquina de acabados				
Descripción	Cantidad	Tamaño	Consumo	Consumo Total
			cfm	
Fugas estufa	20	1/32.	1,46	29,2
Fugas Foulard	3	1/8.	23,1	69,3
Fugas Sistema neumático	2	1/8.	23,1	46,2

Nota: La tabla muestra el diagnóstico realizado y las fugas encontradas en una máquina de la sección de acabados.
Elaboración: propia.

Para poder reparar estas fugas se requiere la compra de los siguientes elementos:

Tabla 24

Costo de elementos de reparación

Elemento	Marca	Valor	Cantidad
Racor neumático ½	Festo	71.230	10
Manguera	Festo	45.000	20 mts
Acople rápido	Festo	117.000	10

Nota: La tabla muestra el costo de compra de los elementos para reparación de las fugas. Elaboración: propia.

Valor total de los elementos de reparación es de 223,230 pesos.

El siguiente paso antes de calcular el ROI es el cálculo del costo de las fugas de aire comprimido para un año:

$$\text{Costo Fuga aire comprimido} = \# \text{ fugas} * \text{tasa de fuga (cfm)} * \frac{\text{kw}}{\text{cfm}} * \# \text{de horas} * \frac{\$}{\text{kwh}}$$

Donde:

Tasa de fuga cfm = tasa de cfm consumidos por tamaño del orificio

$\frac{\text{kw}}{\text{cfm}}$ = consumo en kw/h por generación de aire comprimido según capacidad del sistema

para 100 cfm.

$\frac{\$}{\text{kwh}}$ = tarifa energía.

Ahora, procedemos a calcular el costo de tener las fugas por cada medida del orificio:

Para las fugas de 1/32. De pulgada:

$$\text{costo} \frac{1}{32} = 20 * 1,46 * 0,61 * 0,18 * 8640 * 409 = \$ 11,329,799$$

Para las fugas de 1/8. De pulgada:

$$\text{costo} \frac{1}{8} = 5 * 23,1 * 0,61 * 0,18 * 8640 * 409 = \$ 44,814,790$$

Para las 25 fugas encontradas el cálculo del costo de aire comprimido total es de \$ 56,144,589 pesos, con este cálculo del consumo es posible el ROI anual.

$$\text{ROI años} = \frac{(56,144,589) - (223,230)}{223,230} \% = 25,051\%$$

Con este cálculo está claro que cualquier inversión en eliminación de escapes de aire comprimido tiene un gran impacto en la reducción de costos y representa el ahorro más importante del sistema de gestión energética.

$$\text{Punto de equilibrio} = \frac{223,230}{56,144,589} = 0,0039 \text{ Años}$$

8.4 Cambio de motores convencionales por motores de alta eficiencia

Un motor convencional de 10 Kw de 220 a 440 tiene un costo de 2.769.600 el cual comparado con los motores de alta eficiencia son un 12.7% más económicos, los motores de alta eficiencia tienen un valor de 3.120.785, el motor Premium vale en el mercado 3.738.960 y con casi el 35% más del costo de un motor convencional se puede generar el análisis de inversión si se requiere (se establecen valores de almacén, cotizados en el segundo semestre de 2021 valores en COP).

8.4.1 ROI motores de alta eficiencia

Para calcular el ROI de inversión en motores se toma como ejemplo una máquina del área de acabados, la cual tienen 10 campos y cada campo tiene 20 motores, estos actualmente son de tipo convencional, cada motor consume al año 96,000 Kw/h por lo tanto, el consumo total

al año para los 20 motores es de 1,920,000 Kw/h, se propone usar motores de alta eficiencia el consumo al año será de 1,792,000 Kw/h, comparado con los motores convencionales se tendrá un ahorro de 128,000 Kw/h al año. La inversión de los 20 motores de alta eficiencia es de \$ 64,415,700. Se aplica la fórmula del retorno de la inversión:

$$ROI \text{ año } 1 = \frac{(52,352,000) - (64,415,700)}{64,415,700} \% = -18,72\%$$

Como se observa la inversión para el primer año genera recuperar el 81,18%, por lo tanto, se verifica en qué periodo se recupera la inversión:

$$Punto \text{ Equilibrio} = \frac{64,415,700}{52,352,000} = 1,2 \text{ Años}$$

Teniendo en cuenta que la vida útil de un motor ronda los 4 o 5 años se estima un ROI global así:

$$ROI \text{ año } 5 = \frac{(261,760,000) - (64,415,700)}{64,415,700} \% = 306,36\%$$

Al cabo de 5 años la recuperación de la inversión no solo es completa, sino que la utilidad es de 3 pesos por cada peso invertido.

9 Conclusiones y Recomendaciones

9.1 Conclusiones

El trabajo buscó alternativas de optimización del consumo energético en industrias del sector textil en Colombia, se logra aportar al enfoque de la reducción del consumo energético y para su desarrollo se plantearon como objetivos el diseño de una propuesta de optimización del consumo energético y la búsqueda de los métodos y/o modelos que puedan apoyar el logro de este objetivo.

Estos métodos que soportaron la investigación y el desarrollo del proyecto iniciaron con una caracterización del proceso que permitió conocer más a fondo la empresa y la tipificación de áreas en la industria de producción textil, con esta caracterización se procedió a realizar la carga demandada por el sector para una empresa mediana, el estudio de carga arrojó que los procesos de tejeduría y de acabados son los mayores consumidores de energía eléctrica, el área de tejeduría con un 55% del consumo y el área de acabados con el 29%, esta carga se analizó a través del diagrama Sankey para consumo energético el cual dio como resultado que el 26.63% de la energía consumida por estos procesos es demandada por el servicio de generación de aire comprimido.

Por esta razón para este sector se incluyó en la propuesta la eliminación de desperdicio del aire comprimido bajo diagnóstico utilizando elementos de ultrasonido. Posterior a este diagnóstico se encuentra la generación de medición en la calidad de la energía que resultó de gran ayuda por las variables que arrojó en el control del proceso productivo y que si no se tienen en cuenta pueden ocasionar altos costos y multas para la organización, estas variables son el control de la energía reactiva, la estabilidad de la energía en el tiempo evitando sobre picos que puedan generar daño a los equipos electrónicos, y el aprovechamiento de la capacidad instalada en los transformadores entre otros.

Con ayuda de la norma NTC 50001 se generó la herramienta de análisis de regresión lineal que ayudo a implementar la línea de base energética, esta línea de base energética ayudará a medir en las organización la gestión que se realice en optimización y eficiencia energética, el análisis de esta línea de base energética para la empresa en estudio mostró que existen factores estáticos que están generando sobre consumo con nivel de producción 0, este consumo está en el orden de los 29.499 Kw/h. por esta razón se concluye que estos sobre consumos son pérdidas no

controladas de energía, las cuales pueden estar en escapes de aire, iluminación, alto consumo en arranques y paradas de planta, también en el uso de motores con baja eficiencia o eficiencia estándar.

Con la herramienta de análisis de causas y generación de estrategias DOFA se plantearon estrategias basadas en la mitigación de las debilidades y amenazas del sector, las propuestas de solución se detallan en el numeral 6.3, esta propuesta de solución dada como modelo a seguir para la optimización energética de cualquier organización del sector de producción textil debe ser evaluada según el diagnóstico particular de cada empresa y dependerá del alcance y el ahorro que se quiera obtener.

9.2 Recomendaciones

El presente trabajo se desarrolló para el sector de producción textil en general, es decir no se incluyen los sectores de hilanderías ni de confección, y sus propuestas están enmarcadas en la caracterización de este tipo de empresas, por consiguiente, para tener un alcance mayor de empresas del sector en su conjunto es importante continuar con la ampliación de la investigación y así poder tener un alcance mayor en el sector textil, también es importante entender que el enfoque del proyecto está en los procesos de tejeduría y el área de acabados, obviando un área de alto consumo, las tintorerías y su demanda de energía térmica.

Si una empresa desea tener unos lineamientos estratégicos claves que estén dentro de su política de trabajo en torno a la mejora de la eficiencia energética puede realizar la implementación de un sistema de gestión energético basado en la norma NTC ISO 50001, esta norma define metodologías de gestión energética que nacen desde el compromiso por la alta gerencia, y sus políticas de implementación, gestión y control.

Por otra parte, para mejorar o ampliar el enfoque de gestión energética del sector en el país y los impactos que pueda alcanzar es de alta ayuda enfocar sus mejoras no solo en el ahorro y la disminución del costo operativo, también en las mejoras ambientales que se puedan llegar a obtener por la disminución de gases como el Co2 y el enfoque verde al usar otro tipo de alternativas de energías limpias.

10 Bibliografía

- Abreu, A. J. (2013). *Estudio de oportunidad de implementación de un proyecto de cogeneración en el Combinado Textil Desembarco del Granma*. Las Villas Cuba: Universidad Central Marta Abreu.
- Arsham, H. (26 de 02 de 2021). <http://home.ubalt.edu/ntsbarsh/Business-stat>. Obtenido de <http://home.ubalt.edu/ntsbarsh/Business-stat>: <http://home.ubalt.edu/ntsbarsh/business-stat/opre/SpanishD.htm#:~:text=Un%20modelo%20de%20Optimizaci%C3%B3n%20Matem%C3%A1tica,sistema%20de%20ecuaciones%20o%20inecuaciones>.
- Campos Avella, J. C., & Prias Caicedo, O. F. (2008). *El MGEI, un modelo de gestión energética para el sector productivo nacional*. Cali: Universidad Autónoma del Occidente.
- Carpio, C. (2013). *Eficiencia energética en América Latina y el Caribe: avances y desafíos del último quinquenio*. ONU: Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL .
- Cleves, J. D., Prias, O. F., & Torres, H. C. (2015). *Modelo de normalización de indicadores de desempeño energético en implementación de sistemas de gestión de energía* . Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Duran Suarez, C. A. (2017). *Oportunidades de las empresas de servicios energéticos, en el mercado de la eficiencia energética de la industria colombiana* . Bogotá: Universidad EAN.
- Electricidad, S. (08 de 08 de 2021). *Sector electricidad.com*. Obtenido de Sector electricidad.com: <https://www.sectorelectricidad.com/17597/carga-demanda-y-energia-electrica-conceptos-fundamentales-para-la-distribucion-de-electricidad/>

- ENel Codensa. (11 de 07 de 2021). *Pagina Principal ENel Codensa*. Obtenido de <https://www.enel.com.co/es/empresas/enel-codensa/preguntas-frecuentes-empresariales.html>: <https://www.enel.com.co/es/empresas/enel-codensa/preguntas-frecuentes-empresariales.html>
- Gonzalez, S. F. (2018). *Comparacion de estrategias de control para maximizar la eficiencia energetica en motores sincronicos de reluctancia*. Bogota: Universidad Nacional de Colombia.
- Hidalgo Gonzalez , I. (2005). *Introduccion a los modelos de sistemas energeticos, economicos y medioambientales: descripcion y aplicaciones del modelo POLES*. Huelva: Revista Economica Mundial.
- Lafayette. (03 de 09 de 2019). *Lafayette*. Obtenido de <https://www.lafayette.com/conoces-los-tipos-de-tejido-existentes/>: <https://www.lafayette.com/conoces-los-tipos-de-tejido-existentes/>
- Lourdes, I. P. (2016). *Estructura productiva, eficiencia energetica y emisiones de CO2 en Colombia*. . Barcelona: Universidad Autonoma de Barcelona.
- Manual de la Energia. (02 de 03 de 2021). *Energiaysociedad.es*. Obtenido de [Energiaysociedad.es: http://www.energiaysociedad.es/manenergia/1-1-que-es-la-eficiencia-energetica/](http://www.energiaysociedad.es/manenergia/1-1-que-es-la-eficiencia-energetica/)
- Martinez, C. I., & Poveda, A. C. (2011). *La eficiencia energetica en la industria manufacturera Colombiana: una estimacion con Analisis Envolvente de Datos DEA y datos Panel* . Bogota: Universidad de la Salle.
- Nieto, J., & Santamarta, J. (2006). *Evolucion de las emisiones de gases de efecto invernadero en españa 1990 a 2005*. España: Confederacion sindical de comisiones obreras.

- Peña, A. C., & Sanchez, J. M. (2012). *Gestion de eficiencia energetica: Calculo del consumo, indicadores y mejora*. España: Aenorediciones.
- Peña, J. B. (2016). *modelo de gestion de mantenimiento enfocado en la eficiencia y optimizacion de la energia electrica*. Barcelona: Escuela de Ingenieria y Ciencias Aplicadas.
- Peña, R. P. (2019). *Introduccion a los Modelos de Optimizacion* . Bogota: Universidad Piloto de Colombia.
- Prieto Amado, A. F. (2016). *Modelo matematico para la optimizacion del sistema productivo en funcion del consumo energetico en la MIPYME ASEOPLAST JLH* . Bogota: Universidad Coperativa de Colombia.
- Programa integral de asistencia tecnica y capacitación para la formacion de especialistas en ahorro. (2010). *Promotores de ahorro y eficiencia de energia electrica*. Guatemala: Ahorro de energia electrica mediante motores electricos de inducción de alta eficiencia.
- Quinga Vega, T. S. (2011). *Analisis de Eficiencia energetica para optimizar recursos en la fabrica Textiles la Escala S.A*. Quito Ecuador: Escuela Politecnica Nacional .
- RECIEE. (2018). *implementacion de un sistema de gestión de la energia*. Colombia: ISBN.
- SantaCruz, H. B. (2010). *Analisis energetico para determinar los correctivos a los disturbios electricos en las instalaciones de la planta de produccion textil san miguel de empresas Pintio S.A* . Ibarra: Universidad Tecnica del Norte.
- Secovi. (09 de 08 de 2021). *Secovi.com*. Obtenido de Secovi.com:
<https://www.secovi.com/joomla/files/Estudio%20de%20Calidad%20de%20Energia%20Ejemplo.pdf>

Taipe Vilana, W. E. (2016). *Evaluacion energetica industrial de las instalaciones textiles de Delltex industrial S.A. planta Cumbaya aplicando la norma NTE INEN-ISO 50001:2012.*

Cumbaya: Escuela Politecnica Nacional.

Wikipedia. (09 de 08 de 2021). *Wikipedia.org*. Obtenido de *Wikipedia.org*:

https://es.wikipedia.org/wiki/Distorsi%C3%B3n_arm%C3%B3nica#Distorsi%C3%B3n_arm%C3%B3nica_en_electricidad