

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INGENIERÍA



AHORRO Y USO EFICIENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN PROCESOS INDUSTRIALES
CASO DE ESTUDIO: FABRICACIÓN DE PAPEL RECICLADO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:

JOSÉ JUAN VÁZQUEZ UGALDE

DIRECTOR DE TESIS:

DR. CARLOS PÉREZ TELLO

MEXICALI B.C. JUNIO DE 2018

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se realizó bajo la dirección del Dr. Carlos Pérez Tello a quien le agradezco su orientación y apoyo durante todo este proyecto, a los integrantes del laboratorio de sistemas térmicos y eléctricos, por su apoyo, compañerismo y amistad así como a los integrantes del subcomité de Química – Energía.

Agradezco las facilidades y apoyo brindado por parte de FAPSA a través Ing. Enrique Zarate, Ing. Luis Antonio Castañeda así como a los ingenieros Miguel Ángel Orduño y Ramón Acosta por el soporte en la recolección de información la cual fue vital para esta investigación, los recorridos realizados en planta, así como la capacitación brindada sobre el proceso de fabricación de papel reciclado.

Agradezco ampliamente al Dr. Héctor Enrique Campbell y Dr. Conrado García González por sus excelentes consejos y recomendaciones realizadas durante las evaluaciones de este proyecto, las cuales contribuyeron de gran manera para la culminación de esta tesis.

Al Instituto de Ingeniería UABC y todo el personal docente y administrativo que ahí labora así como al CONACYT ya que sin el apoyo técnico y económico brindado no hubiera sido posible la culminación de este proyecto.

A los docentes antes mencionados así como al Dr. Nicola Radnev Nedev por su profesionalismo y entrega en la impartición de sus materias que me permitieron crecer profesionalmente, desarrollar y culminar este proyecto.

A mi familia quien me inspira a seguir creciendo profesional y personalmente.

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó un diagnóstico energético en una planta industrial dedicada a la fabricación de papel reciclado, para conocer el estado actual sobre la eficiencia en el uso de la energía eléctrica y determinar áreas de oportunidad así como recomendaciones para hacer un mejor uso de la energía.

El propósito de esta tesis es desarrollar, adaptar e integrar una metodología sistemática de análisis y diagnóstico energético, que pretende ser general y flexible aplicable al sector de la industria del papel reciclado, para recabar información valiosa y adecuada que permita detectar áreas de oportunidad en el ahorro de energía eléctrica y de esta manera tomar decisiones e implementar estrategias y/o alternativas eficaces con el propósito de ahorro y uso eficiente de energía.

Para lograr esto se buscó la integración de múltiples factores que intervienen o se ven afectados por el nivel de eficiencia en el uso de la energía eléctrica, como lo es energético, medio ambiental, económico, industrial, social. Para de esta manera crear una herramienta de concientización, desarrollo y aplicación de una metodología para el ahorro y uso eficiente de la energía en un determinado proceso industrial.

Esta tesis se desarrolla con la colaboración de una de las principales empresas dedicadas a la fabricación de papel reciclado de la región. Una investigación de tipo cuantitativo ya que se emplea información histórica y estadística así como análisis de causa-efecto con un proceso secuencial, deductivo y predictivo.

Para realizar el diagnóstico energético se empleó un sistema de recolección de información y datos por medio de entrevistas con el personal de distintas áreas evaluando conocimiento del tema, acciones previas tomadas para hacer un mejor uso de la energía, conocimiento de datos de consumo, conocimiento de la situación general actual del sistema eléctrico y sus dispositivos y por medio de formatos de recolección de datos en campo.

Además se utilizó un software simulador de facturación eléctrica desarrollado por el laboratorio de sistemas térmicos y eléctricos del Instituto de Ingeniería, el cual calcula la

facturación mensual siguiendo los conceptos y precios establecidos por CFE en esquema tarifario el cual fue vigente hasta 2017.

Se realizaron corridas de prueba en el simulador, con los datos obtenidos dentro de los recorridos en planta y los consumos calculados para compararlos con los datos reales obtenidos de la empresa y verificar la convergencia de los valores, lo cual fue aceptable.

Derivado del análisis y diagnóstico energético se logró detectar áreas de oportunidad dentro del proceso de fabricación de papel reciclado, cabe mencionar que se analizó una de las 7 áreas de producción con las que cuenta la empresa, ya que la mayoría de los equipos y procesos son muy similares.

Los resultados obtenidos fueron que, es recomendable controlar 10 motores de los aproximadamente 100 que componen el sistema lo cual representa el 69% de la carga.

Se detectaron equipos que operan a media carga a pesar de que la maquina opera cerca del 90%, lo cual pudo haber incrementado la inversión inicial además de provocar un bajo factor de potencia.

Se recomendó una acción para la corrección del factor de potencia, la cual se paga con el ahorro obtenido en un periodo de 3 meses.

Se calculó que el sistema consume aproximadamente un 13% más de energía que los que debería consumir en condiciones ideales.

Se calculó que de aplicar las recomendaciones hechas en las 7 máquinas, se obtendría una reducción de aproximadamente 56 Ton de CO₂ eq diarias.

El sistema opera de manera continua por lo que se recomienda un control manual de la demanda al arranque de las plantas lo que sucede cada 35 días aproximadamente.

Se recomienda además, instalar contadores de energía individuales por máquina de papel para tener un conocimiento adecuado y poder dar seguimiento así como validar el impacto de las acciones, así como capacitación del personal e implementar un sistema de mejora continua.

Índice

AGRADECIMIENTOS.....	I
RESUMEN.....	II
Capítulo I Introducción	1
Planteamiento del problema	3
Justificación.....	5
Objetivos	8
Objetivo general.....	8
Objetivos específicos.....	8
Hipótesis	9
Limitantes del estudio.....	9
Capítulo II Antecedentes	10
Ahorro y uso eficiente de la energía.....	10
Energía en Baja California	17
Emisión de contaminantes de la industria y la generación eléctrica en B.C.	18
La Industria del papel en México.....	21
Capítulo III Marco teórico.....	24
Indicadores.....	24
Eficiencia energética	25
Indicadores de eficiencia energética	26
Conceptos básicos de energía eléctrica	27
Energía.....	27
Electricidad	27
Energía eléctrica	28
Voltaje y corriente	28
Potencia.....	28
Factor de potencia.....	30
Calidad de la energía.....	31
Corrección de Factor de potencia.....	34

Auditorías energéticas	35
Clasificación de las auditorías energéticas	38
Caracterización Energética	42
Gestión de la demanda	50
Motores eléctricos, clasificación y características principales	51
Sistemas de iluminación	58
Tarifas eléctricas	63
Proceso de producción de papel	66
Capítulo IV Metodología.....	69
Procedimiento.....	73
Desarrollo.....	77
Capítulo V Resultados, Recomendaciones y conclusiones.....	81
Resultados.....	81
Recomendaciones.....	95
Conclusiones	96
Referencias	98
Cronograma	103

Capítulo I Introducción

La energía es un concepto indispensable para el desarrollo social y económico de una entidad, por lo tanto, es de suma importancia dirigir la ciencia y el desarrollo tecnológico hacia un mejor uso de este recurso, ya que con el crecimiento de la población y la industria, así como el agotamiento de los combustibles fósiles y la escases de agua, es más difícil y tiene un mayor costo llevar este servicio hacia los usuarios finales.

En cuanto a energéticos, la electricidad es uno de los recursos mayormente utilizado en los distintos sectores a nivel nacional e internacional, este es un factor crítico en el precio final de los productos y servicios por lo que a su vez tiene un impacto directo en la economía de la población.

En Baja California el sector industrial representa una de las principales actividades económicas del estado, es el primer lugar nacional en establecimientos de la industria maquiladora, manufacturera y de servicios de exportación, primer lugar nacional en empresas del sector aeroespacial, segundo lugar nacional con mayor cantidad de empresas extranjeras, y tercer lugar nacional en establecimientos de fabricación de automóviles y camiones [1].

En la industria, el ahorro y uso eficiente de la energía es un tema de vital importancia ya que pesar de ser menos del 1% de los clientes de Comisión Federal de Electricidad representan más de la mitad en ventas [2], en cuanto a consumo el comportamiento es similar, a nivel internacional el sector industrial representa el 29% del consumo mundial de energía seguido por el transporte y el sector doméstico [3]. Cabe señalar que dentro del sector industrial uno de los energéticos de mayor consumo es la electricidad con el 38% la energía eléctrica mientras que dentro del sector de transporte es la gasolina con el 63% [4].

El sector industrial dedicado la fabricación de papel reciclado representa un punto clave ya que es uno de los principales consumidores de energía. Al aumentar su eficiencia y productividad implementando una metodología adecuada para el ahorro y uso eficiente de

energía, contribuimos directamente tanto a la economía de la empresa, al reducir consumos, demanda y por lo tanto la facturación final, así como al cuidado del medio ambiente, ya que al reducir la demanda eléctrica, de manera proporcional se reducen los contaminantes asociados a la generación, así como la tala de árboles y se reduce además la contaminación por desecho de productos derivados de celulosa.

Por este motivo es necesario desarrollar análisis y diagnósticos energéticos, para adecuar un sistema de ahorro y uso eficiente a las características que el sector industrial requiere, además de dar cumplimiento a las regulaciones actuales en cuanto a eficiencia energética y ser menos destructivos con el medio ambiente.

Mexicali es una ciudad muy contaminada y México un país con una baja calificación en cuanto a eficiencia energética a nivel internacional, por lo tanto actualmente existe un gran potencial de ahorro energético.

Incrementar la eficiencia energética de un sector, no es sinónimo de reemplazo de dispositivos por otros de mayor eficiencia, es posible hacer un uso ineficiente de la energía incluso con dispositivos de alta eficiencia. Se requiere hacer un uso consciente y responsable de la energía, analizando, comprendiendo e integrando los distintos factores que intervienen en la problemática, de tipo energético, económico, ambiental, e inclusive regulatorio y político, para de esta manera generar una cultura de ahorro y uso eficiente de la energía.

Dada la importancia de este tema, se propone desarrollar una metodología sistemática, general y flexible, para recabar información adecuada, realizar diagnósticos y análisis energéticos en la industria del papel reciclado, mediante la integración de técnicas de ingeniería, así como de aspectos económicos, legales, estadísticos, sociales y ecológicos, como una herramienta para la toma de decisiones y mejora continua que optimice el uso de la energía eléctrica en este sector.

Planteamiento del problema

El sector Industrial presenta el mayor impacto en consumo de energía eléctrica, en emisiones de gases de efecto invernadero y es el segundo más grande consumidor de agua. México como país en vías de desarrollo presenta un crecimiento industrial, demográfico y económico que trajo consigo una creciente demanda de energía eléctrica. Tan solo en 2016 el PIB creció un 2.3% [5], para poder continuar con la tendencia de crecimiento satisfaciendo las necesidades de los recursos energéticos en el futuro, así como reducir el impacto ambiental de nuestros procesos productivos, debemos además de buscar alternativas a los combustibles fósiles de los cuales proviene el 80% de los energéticos, desarrollar técnicas y metodologías para un mejor uso de la energía. De seguir con las mismas prácticas de consumo, para el año 2030 este crecerá un 40% [6].

Un estudio realizado por Energy Efficiency Scorecard [7] 2016 ubica a México en los últimos lugares en eficiencia energética. Por esta razón es imprescindible avanzar en cuanto a eficiencia aplicado a los sistemas energéticos industriales.

La falta de herramientas para evaluar e identificar equipos o sistemas que operan con baja eficiencia, además de la falta de sensibilidad al tema y posible desconocimiento, es un problema constante que puede influir negativamente en la toma de decisiones, haciendo perder tiempo, dinero e interés de los responsables, al no obtener resultados significativos.

Un gran problema que se tiene en el sector industrial es que debido a las características de las tarifas eléctricas, la implementación de técnicas para el ahorro y uso eficiente de la energía, así como de equipos para el aprovechamiento de energías renovables no han representado una eficiente y significativa manera de reducir el consumo y los costos asociados a la energía eléctrica, ya que requieren una gran inversión y el tiempo de recuperación se extiende en el tiempo.

Según CFE, el sector industrial a pesar de representar sólo el 0.8% de los usuarios, consumen más de 59% de la energía en el país por lo que representa un sector crítico en el cual existe un gran potencial de ahorro energético, por ende una reducción de la emisión de

contaminantes, lo cual es de suma importancia en ciudades como Mexicali, la cual está considerada como una de las más contaminadas del mundo y la más contaminada de México, son varios los factores que agravan esta situación, algunos de tipo natural, como el clima, ubicación y tipo de suelo, pero las emisiones tanto del sector industrial así como de las centrales de generación de energía contribuyen de gran manera [8][48].

Algunas empresas no consideran el factor ecológico o energético en sus procesos, no analizan su consumo mensual de energía o no cuentan con un sistema de generación de indicadores energéticos. De hecho, muchas empresas nunca han medido la energía que se les suministra, no dominan conceptos eléctricos o el sistema tarifario del cual son usuarios muchas veces por una mala planeación, desconocimiento del tema o falta de una metodología adecuada para este fin, esto no significa que el personal de las empresas no estén capacitados, si no que no existe un departamento o área responsable de este tipo de actividades por lo que no se cuenta con esta información valiosa.

Justificación

El ahorro y uso eficiente de la energía en el sector industrial, es un desafío muy importante para el desarrollo sostenible de la población, y se vuelve crítico en las zonas de mayor concentración y crecimiento industrial como lo es Baja California, esta filosofía es la mejor manera de reducir los costos asociados con el consumo y demanda de energía eléctrica, incrementa la eficiencia de los procesos productivos además de la rentabilidad e imagen de una empresa y los beneficios que se obtienen además de ser económicos, contribuyen al cuidado del medio ambiente, esto incluye acciones desde costo cero, que generan grandes beneficios sostenidos a corto y largo plazo.

Mediante la optimización de los procesos industriales se reduce la demanda de energía y por lo tanto la generación de energía eléctrica por parte de la compañía suministradora, con esto se evitan tanto emisiones de CO₂ como de NO_x, SO_x, y demás contaminantes del aire, suelo y agua. Cabe señalar que las pérdidas o ineficiencias existen desde generación, transmisión, distribución y uso final, por lo que al reducir la demanda del usuario final, el impacto es mayor, ya que se evitan directamente ineficiencias en los usuarios e indirectamente las ineficiencias asociadas al sistema eléctrico público.

Según la AIE la energía eléctrica es una de las formas de energía de mayor uso a nivel mundial, es además una de las formas de energía de mayor calidad, accesibilidad, facilidad de manejo, transportación y transformación a otros tipos de energía, sin embargo, uno de los principales inconvenientes es que no puede almacenarse en grandes cantidades, esto implica que debe ser generada al mismo tiempo que se demanda, por lo que las instalaciones eléctricas deben cumplir con las características necesarias para operar en caso de demanda máxima, sin importar que las mayores demandas se presenten en arranques de equipo o coincidencia de grandes cargas. Por otra parte, el impacto al sistema eléctrico que se obtiene de hacer un uso eficiente de la energía eléctrica, resulta verdadero y eficaz, ya que las acciones para abatir la demanda se reflejan directa e instantáneamente en el sistema eléctrico nacional eliminando además las pérdidas asociadas a la generación, transmisión y distribución producidas por el efecto Joule, entre otros.

En los últimos años, los fenómenos meteorológicos provocados por el calentamiento global, generado por las altas y crecientes emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) se han presentado con mayor fuerza y frecuencia a nivel internacional, provocando fuertes daños económicos, sociales y medioambientales, esto es un grito de la naturaleza que debe ser escuchado con especial atención, para diseñar, adoptar y adaptar medidas orientadas al ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica y así reducir el impacto al medio ambiente asociado a la generación [48].

Entre los diferentes tipos de sistemas industriales de la región se encuentra la industria del papel reciclado. Dicho proceso aprovecha los desechos de papel generados por los diferentes usuarios en todos los sectores para producir productos tales como papel higiénico, servilletas, cartón, etc., que utilizamos cotidianamente en nuestros hogares y en el trabajo. Esta actividad reduce significativamente la tala de árboles evitando un deterioro mayor al medio ambiente además de evitar que miles de toneladas de papel terminen la vía pública o en un relleno sanitario. Por otra parte, un incremento de la eficiencia energética de esta industria redundará en el cuidado del medio ambiente, fortaleciendo la sustentabilidad de la región y generando una cadena de beneficios económicos y sociales.

Por esta razón se plantea desarrollar una metodología sistemática para analizar el comportamiento energético de una planta industrial que produce productos a partir de papel reciclado, que permita a los ingenieros realizar un diagnóstico energético integral detectando los equipos y sistemas de mayor consumo y demanda de energía, y que a partir de ello, puedan establecerse estrategias y acciones de ahorro y uso eficiente en beneficio de la empresa y del medio ambiente.

Esta metodología puede ser base para la implementación de la misma en industrias similares ya que esta enfatizada en detectar las zonas estratégicas de mayor potencial de ahorro y al adaptarse a las características particulares.

Si bien con la reforma energética a través de la ley de transición energética se busca incrementar el aprovechamiento de las energías limpias en la matriz energética nacional, estableciendo una meta mínima de participación en la generación de energía de 25% en

2018, 30% al 2021, 35% para 2024, 45% a 2036 y de 60% en 2050 [9], el ahorro y uso eficiente de la energía no discrimina el origen de generación, es aplicable en todo proceso de generación y transformación de la energía. El incremento gradual de la participación de las energías limpias en el sector energético, traerá consigo una gran cadena de beneficios, sin embargo no resuelve el problema de un alto consumo provocado por baja eficiencia y mala administración de la energía en los procesos productivos [9].

Es necesario llevar a cabo estudios adecuados que proporcionen información útil, que responda a los cuestionamientos de cómo, cuándo, dónde, cuanto y por qué se consume en energía eléctrica para determinar las áreas críticas, de mayor potencial de ahorro y tomar decisiones eficaces que incrementen la eficiencia de los procesos y sistemas energéticos de manera significativa, para de esta manera poder convertir los ahorros obtenidos en activos económicos y así reducir al máximo el tiempo de recuperación de la inversión asociada, haciendo más atractiva la opción de implementar nuevos enfoques de uso eficiente y ahorro de energía, como una política de gestión y mejora continua que involucre asimismo la administración de demanda máxima.

“Las técnicas y metodologías conocidas de eficiencia energética se aplican solo al 30% del consumo global internacional, a pesar del gran potencial de ahorro que podrían aportar, con beneficios económicos, ambientales, sociales etc.” [10].

Una de las principales aportaciones que pretende brindar este proyecto es buscar la integración de los distintos factores que intervienen en la eficiencia energética para llevar a cabo análisis adecuados y tomar decisiones que no tengan como único propósito un beneficio económico, sino de responsabilidad social y medioambiental además de brindar un panorama amplio y general para el inicio de proyectos de eficiencia energética exhibiendo los beneficios en cadena que estos traerían para la sociedad, empresas, gobierno y la nación.

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar y adaptar una metodología integral, de análisis y diagnóstico, para su aplicación en el sector industrial del papel reciclado, que permita tomar decisiones con fundamentos sólidos e implementar estrategias y/o alternativas con el propósito de ahorro y uso eficiente de energía.

Objetivos específicos

Identificar los sistemas energéticos y equipos de mayor impacto en el consumo y demanda de energía en un caso de estudio de una empresa de la industria del papel reciclado.

Desarrollar una guía de captura sistemática de información para el diagnóstico energético de una empresa de la industria del papel reciclado a partir de la caracterización energética de un sistema particular en la empresa.

Determinar las áreas de mayor potencial de ahorro en un esquema típico de producción de papel reciclado y establecer acciones y medidas de ahorro y uso eficiente de la energía.

Evaluar el impacto económico, energético y al medio ambiente que tiene la implementación de una metodología para el ahorro y uso eficiente de la energía en el caso de estudio seleccionado.

Hipótesis

Partiendo de las aseveraciones planteadas anteriormente, se estima un panorama de baja eficiencia general en los procesos productivos de la industria en Baja California, por lo que se prevé una reducción significativa en el consumo y demanda de energía eléctrica al aplicar la metodología anteriormente descrita.

Se prevé que sea necesario recomendar puntos estratégicos de monitoreo para efectos de mejora continua.

La metodología propuesta de análisis y evaluación de sistemas eléctricos en el proceso de producción de papel reciclado será capaz de detectar y cuantificar oportunidades de mejora en el rendimiento energético, permitiendo de esta manera a los ingenieros de planta tomar decisiones correctas, eficaces y eficientes para trabajar con la mejora continua del proceso y de la propia metodología.

Se espera obtener una reducción del consumo de energía en un rango del 10 al 20%.

Limitantes del estudio

Se trabajó con información estadística e histórica limitada, se realizó un análisis de tendencias de comportamiento energético para la generación de indicadores, fue necesario realizar algunas mediciones puntuales en campo, a pesar de que la accesibilidad a las instalaciones eléctricas en algunos casos fue limitada o restringida, algunos datos no habían sido medidos anteriormente por lo que no se cuenta con información histórica, en otros casos la empresa maneja información estimada provenientes de sus sistemas, sin embargo se analizó la sensibilidad de los datos limitados y/o restringidos para generar información confiable.

El tema económico es altamente restringido en la empresa.

Capítulo II Antecedentes

Ahorro y uso eficiente de la energía

En la actualidad, el motor del uso eficiente de la energía es principalmente la contaminación y cambio climático, crisis política y energética debido al agotamiento de los combustibles fósiles y la tendencia a la alza de los precios del petróleo. La eficiencia energética se puede aplicar en todos los procesos industriales, comercios, servicios y vivienda. Por otra parte, las nuevas tecnologías que permiten el aprovechamiento de distintas formas de energía limpia ahora son una realidad de eficiencia y tendencia del precio de producción a la baja que debe ser tomado en cuenta ya que en la actualidad aproximadamente el 80% de los energéticos proviene de combustibles fósiles [3].

A pesar de ser el tema de eficiencia energética sumamente importante y del cual se ha escuchado e implementado mundialmente desde hace mucho tiempo, no ha logrado desarrollarse plenamente en México.

A partir de la revolución industrial entre 1800 y 1840, la disponibilidad del petróleo a bajo costo y la falta de percepción y concientización acerca de la contaminación y el cambio climático fueron factores que determinaron decisiones políticas, económicas y sociales para la generación y uso de la energía eléctrica, dejando de lado el concepto de eficiencia.

Al ser el petróleo abundante y barato, no era prioridad dirigir la ciencia y tecnología hacia nuevas formas de aprovechamiento de la energía [11].

Los precios de los productos se basan en la relación oferta-demanda y el petróleo no es la excepción, por lo que en el periodo 1973-1980 conocido como “la primer crisis del petróleo”, donde los países árabes exportadores de petróleo detuvieron la exportación a países que apoyaron a Israel durante la guerra de Yom Kipur como Estados Unidos y la Unión Soviética, los precios del petróleo aumentaron considerablemente, esto obligo a los países industrializados tomar acciones para reducir el consumo de energía y así disminuir el impacto a sus economías [12].

Organismos internacionales como Naciones Unidas (ONU), Banco Mundial (WB), Organización para el Crecimiento y Desarrollo Económico (OCDE) han sido pioneros con el tema de desarrollo sustentable y eficiencia energética, prueba de esto es que en 1972 a partir de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, se acordó el derecho del hombre a vivir en un ambiente adecuado y de calidad por lo que se comprometieron a proteger y mejorar las condiciones ambientales y se establece que debe ponerse fin a la emisión de sustancias tóxicas o calor que alteren las condiciones naturales del medio ambiente “El hombre debe hacer constante recapitulación de su experiencia y continuar descubriendo, inventando, creando y progresando” [13].

A partir de 1979 se registró una reducción del 0.3% del total de energía consumida en el mundo, las acciones implementadas lograron que a partir de la década de los ochenta, los países incorporados a la OCDE disminuyeran significativamente el consumo de energía por Unidad de Producto Interno Bruto (PIB) [11].

Las medidas aplicadas permitieron reducir el coeficiente de 1.5 registrado en la década de los setenta, a menos de la tercera parte a partir de 1983 [12].

Esto permitió mostrar al mundo entero que pueden aplicarse estrategias para el ahorro y uso eficiente de la energía sin afectar los procesos productivos, por lo que con la disminución de los consumos y el ahorro económico que esto representaba, los países en vías de desarrollo adoptaron estrategias para el uso eficiente de la energía y así poder ser competitivos con los estándares internacionales.

En México, el consumo de energía eléctrica durante el periodo de 1980 a 1989 tuvo un crecimiento promedio de 6.04%, mientras que el PIB creció solo 2.13% en promedio [14]. Esta relación permite observar la terrible realidad de la eficiencia energética del país ese periodo, sin embargo, en el periodo 2000-2009, el consumo nacional de energía creció 2.2% promedio anual, mientras que el PIB lo hizo en 1.2% promedio anual en dicho periodo, se puede observar un decrecimiento en la disparidad de la relación consumo/PIB, de 2013 a 2014, el PIB creció 2.1%, mientras que el consumo nacional de energía decreció 3.6% [16].

Actualmente, el incremento a los precios internacionales del petróleo, el cual ha sido fuente principal para la generación de energía eléctrica, causado por el agotamiento de las reservas mundiales de petróleo entre otras y el impacto al medio ambiente provocado por la contaminación, que ya es visible y tangible a diferencia de décadas atrás, obliga a las naciones a buscar nuevas formas de aprovechamiento de la energía, y hacer un uso racional y eficiente de la misma.

En México las acciones referentes al ahorro y uso eficiente de la energía datan del año 1977, cuando se publicó el manual de procedimientos para el uso eficiente de la energía en la industria y el comercio, de la Comisión de Energéticos basada en una publicación norteamericana "Energy Conservation Program Guide for industrie and comerse", sin embargo, este no fue un tema central para el sector energético de México [11].

En 1979 la Comisión Federal de Electricidad (CFE) inicia con la creación del Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PRONUREE), este programa tenía como propósito divulgar información referente al ahorro de energía y las alternativas energéticas para distintos usuarios, se dirigió a campañas escolares y domesticas sin resultados significativos concretos [12].

En 1982 la Universidad Nacional Autónoma de México creó el Programa Universitario de Energía para tener un marco de referencia para las acciones de investigación y desarrollo así como la vinculación con los demás sectores del país en cuanto a energía [17][49].

En 1984 se publicó el Programa Nacional de Energéticos 1984-1988, en donde el ahorro y uso eficiente de la energía recibió mayor importancia, las acciones de este programa se orientaron a atacar el uso irracional de la energía y desperdicios mediante acciones de optimización en el uso de combustibles, en el sector industrial se estableció la necesidad de fomentar la inversión en ahorro energético mediante el uso de maquinaria y equipo de mayor eficiencia. Finalmente se establecieron metas específicas que entre el 7% y 9% del consumo proyectado para 1988 y del 18 al 20% del consumo proyectado para el año 2000 [18].

En 1984 se creó en Petróleos Mexicanos (PEMEX) el Programa de Conservación y Ahorro de Energía (PROCAE) con seis programas principales que consistían en: Difusión y concientización, capacitación, investigación y asistencia técnica, establecimiento de medidas e instrumentos administrativos, evaluación y control y ,concentración e integración. Estaba dirigido principalmente a aumentar la eficiencia interna de PEMEX [16].

En 1986, la comisión de energéticos de la cámara de diputados trabajó sobre ahorro de energía y sus fuentes alternas, para dotar al país de un soporte legal que impulse el desarrollo de las metodologías acerca del ahorro y uso eficiente de la energía [19].

El 28 de septiembre de 1989 se creó la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) actualmente Comisión Nacional para el Uso eficiente de la Energía (CONUEE) como organismo autónomo de la Secretaría de Energía (SENER), con la misión de promover el incremento de la eficiencia energética en México y el uso de fuentes renovables de energía, así como fungir como órgano técnico de consulta para el ahorro y uso eficiente de energía. Debido a los grandes beneficios que trajo CONAE, el gobierno federal aumento el apoyo para el desarrollo de los organismos dedicados al ahorro de energía y energía renovable, CONAE fue la responsable de desarrollar programas de los cuales se obtuvieron resultados satisfactorios. Los programas desarrollados por esta institución se enfocaron en tres aspectos fundamentales como lo es: normalización, generación distribuida y transporte [19].

Como fruto de los trabajos realizados por PRONUREE se creó el programa “Programa de Apoyo a la Economía Familiar y de Ahorro de Energía Eléctrica” para el apoyo de la economía de las familias, que vivían en zonas con clima cálido extremo ya que presentaban altos consumos eléctricos debido a las características geológicas y ambientales, por lo que se solicitó a la UABC llevar a cabo la “Evaluación de aislamientos térmicos para la viviendas construidas en la ciudad de Mexicali, BC”, este programa contemplaba el aislamiento de 25,000 viviendas a través del fideicomiso No. 728 Fideicomiso para el Aislamiento Térmico de la Vivienda (FIPATERM), fideicomiso público, sin fines de lucro, constituido el 19 de

Octubre de 1990 como un “Fondo Revolvente” para el Aislamiento Térmico de Viviendas en Mexicali y su valle, por iniciativa de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) [16].

En 1990 se creó el Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (PAESE) por iniciativa de CFE para coordinar e impulsar programas para el ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica dentro de las instalaciones de CFE así como para los usuarios finales del servicio eléctrico. Una de las áreas de especialización del PAESE es la evaluación de tecnologías, técnicas y dispositivos para el ahorro de energía eléctrica.

Los dispositivos se someten a rigurosas pruebas en laboratorios acreditados para medir la relación entre su consumo de energía y su desempeño. Cuando la evaluación resulta satisfactoria, el PAESE otorga una Constancia de Ahorro de Energía. Esta constancia indica el ahorro que genera la tecnología y ofrece información clara sobre el desempeño de los equipos [20].

El 14 de agosto de 1990 se constituye el Fideicomiso para el Ahorro de Energía, fideicomiso privado, sin fines de lucro, constituido, por iniciativa de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), en apoyo al Programa de Ahorro de Energía Eléctrica; para impulsar las acciones de ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica.

La misión de FIDE es ayudar e impulsar la seguridad energética de México, mitigar el impacto ambiental así como proporcionar financiamiento, certificación y asistencia técnica. Promueve y desarrolla programas para el ahorro y uso eficiente de la energía además de cogeneración y aprovechamiento de las energías renovables.

Entre los productos y servicios que ofrece Fide se encuentran apoyos técnico y financiero a través de distintos programas, asistencia técnica, diagnósticos energéticos, apoyo en la realización de proyectos para el ahorro de la energía eléctrica, así como financiamiento para la adquisición o generación de productos que permitan el ahorro de energía eléctrica y coadyuven a mantener procesos eficientes en el uso de electricidad. Dirigido a los sectores domiciliario, industrial, comercial, servicios, al campo y a los municipios [21].

Los proyectos y programas realizados por FIDE durante 2014 representan los siguientes beneficios energéticos, económicos y medioambientales:

Ahorro en consumo de energía eléctrica: 56.54 GWh/año, ahorro económico de los beneficiarios: 141.18 millones de pesos, emisiones evitadas de CO2 equivalente: 24,100 toneladas [21].

En el año de 1997 debido a la necesidad de continuar impulsando acciones para el uso eficiente de la energía y de los buenos resultados obtenidos, el Gobierno Federal, en conjunto con el Gobierno del Estado, el Municipio de Mexicali y CFE, determinaron intensificar y ampliar las acciones del fideicomiso agregando nuevos programas para el ahorro de energía, como sustitución de equipos de aire acondicionado de baja eficiencia, sustitución de focos incandescentes por lámparas fluorescentes y sellado de puertas por lo que por motivos de promoción el Fideicomiso 728 FIPATERM, adopta el nombre comercial, de Programa de Ahorro Sistemático Integral (ASI) [21].

La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) reemplaza a CONAE el 28 de noviembre de 2008 a partir de la ley para el aprovechamiento sustentable de la energía y tiene como objetivo promoverla eficiencia energética, así como ser un órgano técnico en materia de uso sustentable de la energía para dependencias y entidades de la administración pública federal, los gobiernos de los estados y municipios, así como de particulares, en materia de ahorro y uso eficiente de energía.

En 2012 CONUEE publicó, el “Protocolo de actividades para la implementación de acciones de eficiencia energética en inmuebles, flotas vehiculares e instalaciones de la Administración Pública Federal” con el que se rigen las instituciones para elaborar su plan de ahorro y uso eficiente de la energía, el eje central es incorporar el aprovechamiento de energía limpia y aplicar el uso eficiente de la energía para evitar desperdicios, desarrollar tecnologías, y trabajar en la mejora continua de las metodologías aplicadas [20].

México como país en vías de desarrollo tiene mucho que aprender sobre eficiencia energética de los países desarrollados en esta materia, actualmente impedimentos como el alto costo de los programas para el ahorro de energía o la baja eficiencia de equipos para

el aprovechamiento de energías renovables ya no son un problema, sin embargo se requiere de un instrumento técnico que dé certidumbre a las acciones para el ahorro y uso eficiente. En la actualidad con el avance tecnológico, solo hace falta poner manos a la obra, por tal motivo es muy importante, avanzar con la normatividad y estandarización para el uso eficiente de la energía, trabajo que ha desarrollado Gobierno Federal a través de CONUEE perteneciente a la Secretaría de Energía, que a lo largo de 22 años ha publicado 29 NOM la mayoría enfocada a equipos eléctricos.

En la década de los 90 se inició el Programa de Normalización y Etiquetado de Eficiencia Energética, por lo que en enero de 1995 entraron en vigor las primeras tres Normas Mexicanas de Eficiencia Energética (NOM-ENER) para refrigeradores, acondicionadores de aire y motores eléctricos trifásicos. Estas normas se homologaron en el 2003 con el resto de Norteamérica.

La prospectiva de eficiencia energética del sector industrial mexicano está enfocado a alcanzar los niveles internacionales de competitividad en términos de precios, calidad y oferta. En la actualidad, con la incorporación de los avances tecnológicos para lograr mayor eficiencia en nuestros procesos así como las políticas nacionales para impulsar el mercado energético, se abre una gran oportunidad de alcanzar los índices de eficiencia energética internacionales, es necesario seguir caminando hacia la eficiencia energética, por lo que después de la generación de las NOM, el siguiente paso es su rigurosa aplicación.

En 2015 las acciones de normalización en eficiencia energética de la CONUEE resultaron en un ahorro estimado de energía eléctrica de 10,468 giga watts-hora que equivale al consumo de energía eléctrica del estado de Coahuila en 2015, lo que también evitó una capacidad de generación de 1,234 mega watts [22].

Energía en Baja California

Baja California cuenta con una capacidad instalada de poco más de 4000 MW lo que representa aproximadamente al 5% de la capacidad nacional. El servicio público consta de 1300 MW que son generados por parte de CFE y 500 MW que son generados en la central eléctrica de la Rosita, propiedad de la compañía estadounidense InterGen con una capacidad instalada de 1,100 MW. Una de las principales centrales generadoras en Baja California es la Geo termoeléctrica de Cerro Prieto con una capacidad instalada de 720 MW es la planta geotérmica más grande de América Latina y la tercer más grande del mundo y la Central Presidente Juárez ubicada en Rosarito con una capacidad instalada aproximadamente de 1300MW por medio de distintas tecnologías. Además el servicio privado de electricidad tiene una capacidad instalada de 1,200 MW de los cuales 600 MW son aportados por la termoeléctrica de La Rosita y los otros 600 MW son aportados por la central termoeléctrica estadounidense ubicada en Mexicali Sempra Energy [23] [24].

Baja California cuenta con una infraestructura para la generación eléctrica compuesta por 9 centrales generadoras con 28 unidades de generación, de las cuales 4 son centrales geo termoeléctricas con 13 unidades de generación, 3 centrales turbogás con 6 unidades, una de ciclo combinado con 2 unidades, una central de vapor con 6 unidades además de 5 aerogeneradores de 2 MW y una central fotovoltaica de 5MW [25].

El sistema eléctrico del estado está aislado del sistema eléctrico nacional pero está afiliado al mercado de energía de WSCC (Western System Council Coordinator) conectado a Estados Unidos de América y Canadá, mediante dos líneas de 230 kV ubicadas una en La Mesa de Otay, Tijuana y otra en La Rosita, Mexicali [23] [24].

En Baja California prácticamente el total de los energéticos a excepción de las energías primarias renovables como solar, eólica, hidroeléctrica y geotérmica son importados.

La capacidad instalada en Baja California ha crecido utilizando el gas natural como combustible, por su costo y su bajo nivel de emisión de contaminantes, por lo que la generación con este combustible ha desplazado a la tecnología que llegó a representar

hasta el 75% de la capacidad instalada, la geotermia, que ha caído al 25% aproximadamente actualmente. Las unidades de ciclo combinado operando con gas natural en 9 años ya representan el 48% de la capacidad instalada [26].

Baja California ocupa el treceavo lugar de usuarios de energía eléctrica con 1.173.013 millones lo que representa el 3.1 % del total nacional. Es el estado número 10 en cuanto a consumo de energía con el 4.5% de consumo respecto al consumo nacional, el 89% de los usuarios son de carácter doméstico y representan el 32% del consumo (3 millones MWh) mientras que el sector comercial e industrial se aproximan al 10% y consumen el 56% del total del de energía eléctrica del Estado [26] [23] [24].

Emisión de contaminantes de la industria y la generación eléctrica en B.C.

Según el inventario nacional de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático INECC, las tecnologías convencionales para la generación eléctrica como las centrales de ciclo combinado, turbogás, termoeléctrica convencional, combustión interna, lecho fluidizado y carboeléctrica, contribuyen 19% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero a nivel nacional con un volumen anual equivalente a 127 mil millones de toneladas de CO₂ y es la segunda actividad con mayor impacto al medio ambiente después de las fuentes móviles (Medios de transporte aéreos, terrestres y marinos y maquinaria no fija con motor de combustión y similares) [23].

Tecnologías convencionales

Ciclo combinado es la tecnología de generación con mayor capacidad instalada en México, con 71 centrales que representan el 37% de la infraestructura de generación y aportaron el 50% de la energía generada a nivel nacional en 2016. Baja California cuenta con una capacidad instalada de aproximadamente 773 MW que produjeron alrededor de 4600 GWh durante 2016 [23][27].

El funcionamiento de las centrales que operan con esta tecnología se da por la combinación de dos ciclos termodinámicos en un sistema de generación, el ciclo Brayton donde se convierte la energía del combustible en energía eléctrica, por medio de la combustión del gas que impulsa una turbina y a su vez un generador, proceso del cual se aprovecha parte de la energía térmica del primer ciclo para generar vapor y alimentar una segunda turbina de vapor mediante el ciclo Rankine.

La eficiencia de la generación eléctrica por medio de esta tecnología es superior a otras tecnologías convencionales, es hasta 1.4 veces mayor que la de una termoeléctrica convencional y el factor de emisión asociado es de 417 kg de CO₂ por MWh el cual es menor a la media del sector eléctrico que es de 454 kg de CO₂ por MWh establecido por SEMARNAT [23].

Termoeléctrica convencional es la segunda tecnología de generación eléctrica con mayor capacidad instalada en México, en el país se cuenta con 60 centrales termoeléctricas convencionales con una capacidad instalada equivalente al 17% del total nacional, las cuales aportaron el 13% de la electricidad generada en México durante 2016. Baja California cuenta con una capacidad instalada de aproximadamente 2097 MW que produjeron 9600 GWh durante 2016 [23].

Esta tecnología consiste en transformar el agua en vapor, el cual se expande en una turbina lo que provoca el movimiento mecánico para impulsar una turbina y esta impulsa a un generador para así producir la electricidad, las centrales termoeléctrica convencional puede utilizar una gran variedad de combustibles como carbón, gas natural y derivados del petróleo.

En México y el mundo las centrales Termoeléctricas convencionales están siendo sustituidas debido a su baja eficiencia que es aproximadamente un 73% menor a la de un ciclo combinado y su alto impacto al medio ambiente ya que en promedio emite 680 Kg de CO₂ por cada MWh [23].

Turbogás, con 128 centrales en México, representa el 7% de la capacidad instalada y aportó el 4% de la energía producida en 2016. Baja California cuenta con una capacidad instalada de 525 MW que aportaron 720 GWh durante 2016 aproximadamente [27].

La generación eléctrica a partir de esta tecnología requiere de un compresor, una cámara de combustión y una turbina de expansión. El proceso de generación inicia cuando el aire entra al compresor, después de la compresión el aire entra a la cámara de combustión donde por una parte se proporciona el oxígeno necesario para realizar la combustión y otra parte se utiliza para enfriar los gases y lograr la expansión en la turbina que provoca el movimiento mecánico, el cual se transmite al generador, obteniendo así energía eléctrica. Esta tecnología se utiliza es considerada de arranque rápido por lo que suele ser utilizada para atender la demanda punta, ofrece una eficiencia media del 35% y tiene un factor de emisión de CO₂ de 566 kg por cada MWh generado [23].

En la siguiente tabla podemos observar un comparativo sobre las distintas tecnologías y la emisión de CO₂ asociada, en promedio se emiten 454 Kg/ MWh, a nivel nacional del total de emisiones de CO₂ el 19% se debe a la generación de energía eléctrica con 126 millones de toneladas de las cuales Baja California aporta aproximadamente el 5% [28][41].

Emisiones de CO ₂ eq por Generación Eléctrica por tipo de tecnología en BC 2016					
Tecnología	MW	GWh	MWh	KG/MWh	Mil Ton CO ₂
Ciclo combinado	773.00	4,653.00	4,653,000.00	417.00	1,940.30
Termoeléctrica	2,097.00	9,500.00	9,500,000.00	680.00	6,460.00
Turbogás	525.00	720.00	720,000.00	566.00	407.52
Combustión interna	22.00	88.00	88,000.00	692.00	60.90
Geotérmica	570.00	3,700.00	3,700,000.00		
Eólica	166.00	400.00	400,000.00		
Solar	5.00	10.00	10,000.00		
Total	4,158.00	19,071.00	19,071,000.00		8,868.72

Emisión de CO₂ por tipo de tecnología de generación eléctrica en BC elaboración propia con datos de Inventario nacional de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero 2016

La Industria del papel en México.

El papel es uno de los materiales más utilizados en nuestra vida cotidiana, no solo en el ámbito laboral, de la educación, publicidad y transferencia de información, si no en miles de productos que utilizamos cotidianamente, a pesar del creciente avance de la industria electrónica e internet, en pleno siglo XXI el papel es un recurso insustituible.

El consumo de papel a pesar de ser dañino para el medio ambiente, es un indicador de desarrollo de las naciones, por lo que irónicamente, el crecimiento de este indicador es una señal de crecimiento económico y de la mejora de la calidad de vida según los especialistas. Además de ser un indicador de desarrollo también indica un despilfarro de los recursos naturales.

Las naciones industrializadas, con el 20% de la población mundial, consumen el 87% del papel para escribir e imprimir. Consumen y sobre todo desperdician este recurso, ya que aproximadamente el 40% de los residuos sólidos generados en Europa son papel y cartónv[29]

El consumo de papel en España en 2002 fue de algo más de 170 kg/habitante/año mientras que en reino unido el consumo promedio es de 206 kg/habitante y en Alemania 225 kg/habitante de Alemania [29].

Según el Instituto Nacional de Recicladores (INARE), el consumo de papel en México es de 100 kilogramos por habitante al año, cifra relativamente baja si se compara con el mayor consumidor mundial, el de Estados Unidos, que es de 303 kg per cápita [30].

Este dato sirve al sector papelerero para reclamar y predecir un mayor consumo de papel para acercarnos a los países “más avanzados”. Producir y derrochar papel puede ser un objetivo de los que se enriquecen con este negocio, pero es a todas luces una mala noticia para el planeta [31].

La fabricación del papel tuvo su origen hace aproximadamente 2,000 años en China y se hizo popular en Europa a mediados del siglo XIII. En estos tiempos, las fibras de la corteza de morera, los papiros, la paja o el algodón fueron utilizadas como materia prima para la fabricación de papel. La industrialización de la producción de papel se inició casi un siglo después, cuando se comenzaron a extraer las fibras de la madera para utilizarlas como materia prima.

La producción de pasta y papel provoca graves impactos sobre el medioambiente, ya que el proceso requiere un uso intensivo de madera, productos químicos, agua y tiene una alta demanda de energía.

En México operan 27 empresas de la industria del papel las cuales generan más de 65,000 empleos directos y 235,000 indirectos en la república Mexicana, el valor de mercado del sector papelerero y sus productos derivados equivale al 6.7% del PIB manufacturero o el 3.7% del PIB industrial [31].

México ocupa el 4to. Lugar de los países recicladores de papel en el mundo reutilizando más de 4.9 millones de toneladas de papel en desuso, esto representa 88.1% de la materia prima fibrosa utilizada anualmente [31].

Más de dos tercios del consumo del papel en México, es generado por la Industria Nacional, satisfaciendo las necesidades crecientes de la población.

Esta industria es importante generadora de desarrollo a nivel estatal. (Baja California, Chihuahua, Coahuila, Hidalgo, Durango, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Puebla, Oaxaca, Querétaro, San Luis Potosí, Sonora, Edo de México, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Distrito Federal) [31].

Según el balance nacional de energía 2015 el principal consumidor de energía es el sector del transporte, sin embargo el 63% de la energía consumida por este sector son combustibles, por otra parte, el sector industrial representa el 32% del total nacional y el 33% de la energía requerida en este sector es electricidad [4].

Las industrias que se identifican como las mayores consumidoras de energía, de acuerdo al Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte son:

1. Industria básica del hierro y del acero.
2. Fabricación de cemento y productos a base de cemento en plantas integradas.
3. PEMEX Petroquímica.
4. Industria química.
5. Fabricación de vidrio y productos de vidrio.
6. Fabricación de pulpa, papel y cartón.
7. Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas.
8. Elaboración de azúcares.
9. Elaboración de cerveza.
10. Elaboración de refrescos, hielo y otras bebidas no alcohólicas, y purificación y embotellado de agua.
11. Construcción.
12. Fabricación de automóviles y camiones.
13. Fabricación de productos de hule.
14. Fabricación de fertilizantes.
15. Elaboración de productos de tabaco.

Como podemos observar fabricación de papel, el cual es el objeto de esta tesis se encuentra ubicado en el lugar número seis de las industrias más consumidoras de energía durante 2015.

Un reporte de Financiera Rural asegura que, por cada tonelada de papel reciclado dejan de talarse 17 árboles y se ahorran 25 mil litros de agua y se ahorran 1400 litros de combustible. Sin embargo, la caída de los precios en la industria y la demanda aún provoca una necesidad de recursos forestales demasiado elevada y en México la carencia de celulosa supone un verdadero desafío para la industria papelera [32].

Capítulo III Marco teórico

Indicadores

Una sencilla explicación para el concepto “Indicador” es decir que es algo que nos indica alguna situación o característica, en el área de ingeniería o estadística, adquiere un significado más complejo que nos brinda información específica acerca de algún conjunto de factores y la interacción entre ellos.

Existen algunas diferencias respecto al valor que adquieren los indicadores, ya que mientras que algunas personas lo consideran como un valor absoluto otras lo consideran una proporción y valores compuestos. Lo que es una realidad, es que para ser confiables, los indicadores deben evolucionar con el tiempo, adaptándose a las condiciones de cada país así como a sus capacidades y objetivos.

Los indicadores son utilizados por los países para evaluar sus sistemas energéticos, económicos, sociales y seguir su progreso hacia metas y objetivos de desarrollo definidas. Es necesario conocer el contexto en la generación de indicadores ya que a pesar de ser valores numéricos, un valor no tiene el mismo significado para dos países diferentes ya que depende de su economía, geografía, políticas energéticas etc.

Los indicadores no son sólo datos. Deben proveer información clara de los principales aspectos y destacar las relaciones importantes que no son evidentes en las estadísticas básicas, además de reflejar y relacionar distintos conceptos.

Analizar el consumo de energía, nos brinda solo información estadística, sin embargo al relacionarlo con el PIB a través del tiempo, nos brinda información específica y confiable acerca de la relación que existe entre la actividad productiva y el consumo de energía, lo cual es una importante herramienta para la toma de decisiones acerca de la planeación energética nacional [33].

Eficiencia energética

Este concepto a pesar de parecer intuitivo y sencillo suele llevar a diversas confusiones en su aplicación. Un dispositivo o sistema es más eficiente si al realizar el mismo trabajo, requiere una cantidad menor de energía, o puede realizar una mayor cantidad de trabajo con la misma cantidad de energía.

Una de las principales cargas eléctricas sin duda es el equipo de aire acondicionado, misma que resulta indispensable para el confort humano e influye en la productividad de las personas en los procesos productivos, sin embargo, apagar el equipo de aire acondicionado a pesar de representar un “ahorro de energía” no es una acción de eficiencia energética. La eficiencia energética se enfoca en optimizar los procesos productivos, producir más con menos energía. No se trata solo de ahorrar energía, si no de consumirla de manera inteligente evitando pérdidas, o ineficiencias.

En términos macroeconómicos, la eficiencia energética se analiza a través del concepto de intensidad energética, que se calcula como el cociente entre el consumo energético de una economía y su producto interior bruto (PIB). Esto es la cantidad de energía necesaria para producir una unidad de PIB en la economía.

La eficiencia energética es un tema de importancia a distintos niveles, a nivel internacional los beneficios de la eficiencia energética son la reducción de las emisiones contaminantes emitidos por las plantas generadoras de electricidad y la contribución al desarrollo sustentable. A nivel de Nacional, la conservación de los recursos energéticos límites, la mejora de la seguridad energética, la reducción de las importaciones de energéticos y la reducción de costos que pueden ser utilizados para el desarrollo. A nivel de empresa el incremento de la eficiencia energética reduce las cuentas de energía, incrementa la competitividad, eleva la productividad y las ganancias.

Indicadores de eficiencia energética

Un indicador de eficiencia energética nos brinda información para determinar un punto real u óptimo de eficiencia y así poder comparar y medir la eficiencia energética de nuestros dispositivos y operaciones, esto nos permite establecer acciones adecuadas ya sea para mantener el nivel óptimo de eficiencia así como para optimizarlo en caso de ser necesario, es una herramienta que nos permite incluso detectar problemas en los equipos, por lo que este concepto debería ser incluido en los planes de mantenimiento en caso de no estar presente.

Los indicadores de eficiencia energética en general expresan una relación entre energía demandada y el trabajo realizado por un dispositivo. En un automóvil la eficiencia energética podría calcularse mediante el volumen de combustible utilizado por unidad de distancia recorrida (l/km), aunque podría expresarse a la inversa (km/l). Es importante analizar el contexto para determinar que indicador es más conveniente utilizar ya que es posible obtener una gran cantidad de indicadores, sin embargo no todos proveerán información valiosa o destacarán aspectos no evidentes, lo que podría provocar una mayor confusión en cuanto a la eficiencia energética de nuestros dispositivos.

Algunos de los factores que influyen en la degradación de la eficiencia son:

Reparaciones: Cualquier reparación en el motor, implica que se modifican las condiciones de diseño, por lo que tienen un impacto negativo en la eficiencia, en el caso más típico de reparación, rebobinado, se pierde eficiencia en promedio alrededor del 2%.

Carga mecánica: Las pérdidas Joule, se ven afectadas cuando el motor trabaja con carga diferente de la nominal, generalmente la carga para la que un motor eléctrico presenta los mayores niveles de eficiencia es alrededor del 80%.

Calidad de la energía de alimentación: para aumentar la eficiencia en los procesos de transformación de la energía, es necesario que todos los elementos que intervienen sean eficientes, un aspecto básico y principal es la calidad de la energía [35].

Conceptos básicos de energía eléctrica

Energía

El término “energía” es un concepto abstracto del que se pueden encontrar diversas definiciones desde diferentes ámbitos los cuales contienen intrínsecamente el significado real del concepto, uno de los más comunes para la física y la química, es que la energía es la capacidad de realizar trabajo, sin embargo el trabajo es una forma de energía de tránsito, lo que nos lleva a caer en una definición cíclica del término. Podemos considerar la energía como la capacidad de realizar un cambio en un sistema o el ambiente que lo rodea.

La unidad de medida que utilizamos para cuantificar la energía es el Joule (J) denominada así en honor al científico británico James Preston Joule (1818-1889). Es el trabajo realizado por la fuerza de 1 newton en un desplazamiento de 1 metro en dirección a la de la fuerza, también equivale al trabajo realizado cuando 1 amperio de corriente pasa a través de una resistencia de 1 ohm durante un segundo. En general la unidad de energía es el Joule por lo que cualquier forma de energía puede transformarse a Joules [37].

Electricidad

La electricidad es una propiedad física de la materia, consiste en la interacción negativa o positiva existente entre los protones y los electrones de la materia. El origen etimológico de la palabra es griego, sin embargo el término fue introducido en la sociedad científica por primera vez por el científico inglés William Gilbert en el siglo XVI para describir el fenómeno de interacción de energía entre partículas, es decir cargas eléctricas.

Es una propiedad inherente a la materia donde todo objeto el cual el número de electrones sea diferente al número de protones contiene una carga eléctrica, si el número de electrones es mayor que el de protones la carga es negativa, si el número de protones es mayor, la carga es positiva [36].

Energía eléctrica

La energía es la entidad intangible por medio de la cual podemos realizar alguna alteración al medio que nos rodea. Por lo tanto, la energía eléctrica la podemos definir como la energía resultante de una diferencia de potencial entre dos puntos lo cual permite obtener algún tipo de trabajo de índole lumínico, mecánico, térmico o magnéticos debido al movimiento de cargas eléctricas.

Voltaje y corriente

El voltaje o tensión es la presión que ejerce una fuente de suministro de energía eléctrica sobre las cargas eléctricas o electrones en un circuito eléctrico cerrado; es decir, es la fuerza eléctrica con que son empujados los electrones a través de un conductor, su unidad de medida es el Volt (V).

La corriente, es el flujo de electrones que pasan a través de un conductor eléctrico. La cantidad de flujo depende del material a través del cual pasan las cargas y de la diferencia de potencial que existe de un extremo al otro del material. Es la cantidad de electrones que circulan por un conductor, cuando se le aplica a este una tensión, en una unidad de tiempo, su unidad de medida es el Amper [37].

Potencia

En general la potencia es la cantidad de trabajo que se realiza en un segundo por lo que se puede expresar como una relación matemática, sin embargo en el ámbito eléctrico, pueden describirse distintas formas de potencia las cuales se describen a continuación.

Potencia Real o Activa, es la potencia que se convierte en trabajo útil, tal como el par en la flecha de los motores, calentamiento en resistencias, calor y luz en lámparas eléctricas. Se denota por la letra P y se mide en watts (W) o kilowatts (kW) [37].

Se calcula mediante:

Sistema monofásico: $P = V I \text{Cos}(\theta)$ watts

Sistema trifásico: $P = \sqrt{3} V I \text{Cos}(\theta)$ watts

Donde:

V Es voltaje de línea

I Corriente de línea

θ Es el ángulo entre voltaje y corriente

$\text{Cos}(\theta)$ También se le conoce como factor de potencia (en redes sin presencia de armónicos)

Potencia Reactiva. Es la potencia encargada de crear los campos magnéticos y eléctricos en bobinas y capacitores. Se denota por la letra Q y se mide en Volt Amper (VAR) es un tipo de flujo de corriente que no genera ningún trabajo, el aumento de la potencia reactiva disminuye el factor de potencia. Normalmente la potencia reactiva es mayor cuando los motores no trabajan a su máxima capacidad, para compensar un bajo factor de potencia se emplea un generador positivo de potencia reactiva, condensador o capacitor.

En muchas instalaciones se cambia la alimentación directa del motor utilizando un variador de velocidad, de forma que puedan optimizar el funcionamiento y la velocidad del motor en relación a su carga. Esta optimización permite emplear la energía de forma más eficiente en el ventilador e incrementar el factor de potencia [37].

La potencia reactiva se calcula mediante:

Sistema monofásico: $P = VI \text{Sen}(\theta)$ VAR

Sistema trifásico: $P = \sqrt{3} VI \text{Sen}(\theta)$ Var

Donde:

V Es voltaje de línea

I Corriente de línea

θ Es el ángulo entre voltaje y corriente

Potencia Aparente, es la magnitud de la suma vectorial de la potencia real y aparente o potencia compleja, se denota por la letra S y se mide en Volts-Amperes o VA y se calcula mediante:

$$\text{Sistema monofásico: } P = VI \text{ (kVA)}$$

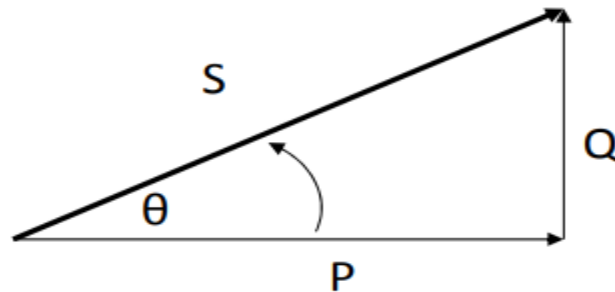
$$\text{Sistema trifásico: } P = \sqrt{3} VI \text{ (kVA)}$$

Donde:

V Es voltaje de línea

I Corriente de línea

En el triángulo de potencias se puede observar y analizar de forma gráfica la relación entre la potencia activa, reactiva y aparente con el factor de potencia en un circuito de CA.



Triangulo de potencias

Factor de potencia

Se define como el coseno del ángulo formado entre la potencia real y la potencia aparente. Es una medida del consumo de potencia real y potencia reactiva en una instalación eléctrica, la potencia activa es la única que produce trabajo real, mientras que la potencia reactiva es fluctuante y se utiliza solo en la creación de campos eléctricos y magnéticos.

$$FP = \text{Cos}(\theta) = \frac{P}{S}$$

Un factor de potencia bajo implica que existe demasiada potencia inductiva en la instalación eléctrica, y esa potencia es aportada por los generadores de la compañía suministradora. El mínimo factor de potencia que exige la CFE es de 0.9. Si el factor de potencia de la instalación es menor a 0.9, la compañía penaliza mediante multas por el bajo factor de potencia. Si el valor del factor de potencia es mayor a 0.9 la CFE bonifica por buen uso de la energía [37].

Calidad de la energía

La calidad de la energía eléctrica es el conjunto de propiedades y características que el suministro eléctrico debe tener para satisfacer las necesidades y expectativas del consumidor y sus equipos eléctricos. Las variaciones de corriente, voltaje o frecuencia, así como el desequilibrio entre fases, o un bajo factor de potencia, afectan la vida útil de los equipos y sistemas eléctricos, además de provocar la disminución de la eficiencia energética de nuestras operaciones [38].

Los principales problemas de calidad de energía se pueden enlistar en los siguientes puntos.

1. Distorsión Armónica
2. Desbalance(en tensión y corriente eléctrica)
3. Sobretensión
4. Dips /Sags/ Bajadas de Tensión
5. Swell/ Subidas de Tensión
6. Flicker o parpadeo
7. Cortes/Apagones/Interrupciones
8. Cambios de Frecuencia
9. Factor de potencia

La distorsión armónica es el grado de deformación que tiene una señal periódica en comparación con una función senoidal pura, la principal causa son cargas no lineales tales, los equipos no lineales a pesar de ser alimentadas con una tensión sinusoidal, absorben de la red corrientes periódicas no senoidales. El resultado es una deformación de la corriente,

y como consecuencia de la tensión. Para atacar el problema de armónicas se recomienda la implementación de transformadores zig-zag, filtros y reactores de choque [38].

Desbalance, un sistema trifásico eléctrico está balanceado si los voltajes y corrientes trifásicas tienen la misma amplitud y un desplazamiento de fase de 120° entre ellos, si es así, el sistema está desbalanceado. Algunas de las causas que originan un sistema desbalanceado son: cargas monofásicas en un sistema trifásico, reguladores monofásicos, pérdida de fase en sistemas eléctricos. Algunos de los problemas que causan un sistema eléctrico desbalanceado son: calentamiento de motores y transformadores, calentamiento de conductores, disparo de protecciones. Para atacar el problema de desbalance se recomienda no conectar cargas monofásicas en sistemas trifásicos, así como contar con un monitor de desbalance y hacer las conexiones físicas de manera más balanceada posible [38].

Sobre voltajes, son variaciones del valor eficaz que duran más de un minuto y exceden el 110% del voltaje nominal, los valores típicos se encuentran entre el 110 y 120%. Algunas de las causas que los originan son la conexión de bancos de capacitores, liberación de cargas, cargas ligeras en sistemas de alto voltaje, control o regulación de voltaje inadecuados, fallo del neutro. Los problemas más comunes que ocasionan el sobre voltajes son: la disminución de la vida útil de los motores, transformadores y conductores, así como el mal funcionamiento y fallo de componentes sensibles [38].

Dip o sags, son depresiones de voltaje se define como la reducción de voltaje por un corto periodo de tiempo, que va de medio ciclo a 1 minuto, la magnitud de reducción se encuentra entre el 10% y 90% del voltaje "RMS" nominal a 60Hz, esto se origina por fallas en el sistema eléctrico, conmutación de cargas grandes, arranque de motores de gran capacidad, conmutación de líneas eléctricas o sistemas de distribución subdimensionados. Algunos de los problemas que esto ocasiona son, calentamiento de motores, fallos en computadoras, salida de PLCs y equipo basado en microprocesadores, baja intensidad o fallo en sistemas de iluminación [38].

Swell o sobre voltaje momentáneo, son incrementos de más de 110% del voltaje nominal que duran menos de un minuto pero más de medio ciclo, los swells son provocados por fallas en la línea a tierra de sistemas de potencia, salida de grandes cargas, energización de grandes bancos de capacitores. Los efectos que provoca la presencia de swells son: reducción de la vida útil de equipo eléctrico, mal funcionamiento de equipo, aumento de intensidad luminosa en equipo de alumbrado. El equipo recomendado contra sags o swells son reguladores de voltaje, intercambiador electrónico de taps y fuentes ininterrumpibles [38].

Flicker o parpadeo es un caso particular de una variación rápida de tensión, donde ésta se presenta en forma repetitiva y permanente. Su magnitud oscila entre un 90% y un 10% del voltaje nominal, es un fenómeno visual por lo que la unidad de medida es llamada “índice de perceptibilidad”. Algunas de las causas que provocan este fenómeno son: regulación inadecuada y que están alimentados por una fuente común que a su vez alimenta otros tipos de carga, que demandan potencia en forma variable y periódica. Algunos de los daños de este fenómeno es la intensidad de lámparas, como luminarias de vapor de mercurio, incandescente o fluorescente, parpadeo en televisores o pantallas de las computadoras y variación de velocidad en motores. Provoca desgaste prematuro en fuente de alimentación y elementos eléctricos y electrónicos. Para minimizar los problemas provocados por flickers se recomienda la implementación de reguladores de voltaje [38].

Interrupciones o apagones, es una pérdida total del voltaje, sin embargo se entiende como pérdida total cuando el voltaje se reduce a 10% o menos del valor nominal en una o más fases, y se considera no sostenida si la duración de la interrupción no excede de 1 minuto. Algunas de las causas que provocan interrupciones son fallas en transformadores o generadores, fallas en controles, conexiones deficientes. Esto provoca salida de operación de equipos, por ende pérdida de producción. El equipo recomendado para evitar tanto altos como bajos voltajes son generadores de emergencia, banco de baterías, acondicionadores de línea, transformadores ferro sonantes o fuentes ininterrumpibles (UPS) [38].

Variación de la frecuencia, se define como la desviación de la frecuencia fundamental del sistema de potencia de su valor nominal, la frecuencia está directamente relacionada con la velocidad angular de los generadores que alimentan el sistema. Algunas causas que originan este problema son fallas en la red de transmisión, conmutación de grandes cargas, salidas de unidades generadoras. Algunos de los problemas que ocasiona este fenómeno son inestabilidad del sistema, interrupciones sostenidas, vibración en equipo eléctrico, variación en potencia de motores [38].

Factor de potencia, de manera general es la cantidad de energía que se convierte en trabajo útil, el valor ideal del factor de potencia es lo más cercano a uno, esto indica que toda la energía se convirtió en trabajo útil, por el contrario un factor de potencia menor significa que una parte de la energía no se convirtió en trabajo útil.

Las causas de problemas de factor de potencia bajo son un gran número de motores, equipos de refrigeración y aire acondicionado o mal estado físico de la red eléctrica y una subutilización de la capacidad del equipo. Los problemas que trae consigo un factor de potencia bajo es un mayor consumo de corriente, aumento en las pérdidas en conductores, desgaste de conductores, incremento en caídas de voltaje, sobrecarga en transformadores y cargos en la facturación eléctrica. Para evitar los problemas que provoca un bajo factor de potencia se recomienda de la instalación adecuada de bancos de capacitores fijos, automáticos o híbridos, así como filtro de armónicas y el uso motores síncronos [38].

Corrección de Factor de potencia

Reducir al máximo la potencia reactiva es del interés del usuario final así como del organismo proveedor, por una parte, el usuario recibe penalizaciones al presentar un bajo factor de potencia, mientras que la presencia de potencia reactiva, obliga a tener un sistema eléctrico desde generación y transmisión más robustos, y con mayores pérdidas.

Típicamente el bajo factor de potencia se debe grandes cargas inductivas que provocan un retraso de la corriente respecto al voltaje, la compensación del factor de potencia consiste en conectar una carga capacitiva para minimizar los efectos de la potencia reactiva, para realizar esta corrección se requieren conocer algunos parámetros eléctricos como la potencia activa consumida, el factor de potencia inicial y el factor de potencia deseado después de la compensación.

Un método práctico es el método de compensación de potencia reactiva es por medio de la tabla de factor K ubicada en anexos, la cual indica una columna y una fila donde en la columna se selecciona el valor del factor de potencia actual mientras que en la fila se selecciona el valor del factor de potencia deseado, el valor ubicado en la intersección de la columna y la fila es el valor buscado para calcular la compensación reactiva.

Es importante conocer las horas de funcionamiento de la instalación eléctrica para poder obtener los datos precisos y después realizar el procedimiento descrito anteriormente.

Al realizar una corrección adecuada, se obtendrá un aumento en la capacidad de líneas y transformadores, mejora del voltaje de la red así como disminución de ineficiencias.

Otro punto importante es la definición del FP final deseado ya que a pesar de técnicamente lo más cercano a la unidad es lo ideal podría resultar muy costoso, por lo que entran en juego otros conceptos para establecer el valor del FP que se entiende como más eficiente, tomando en cuenta aspectos técnicos y económicos, para realizar esta estimación es necesario conocer el sistema de facturación de recargos por bajo factor de potencia, tema que será abordado más adelante [].

Auditorías energéticas

La auditoría energética es una de las etapas de mayor importancia dentro de las actividades de un programa para el ahorro y uso eficiente de la energía, es el conjunto de elementos de exploración, medición, análisis y evaluación mediante métodos específicos, de los principales equipos, sistemas y procesos consumidores de energía, para obtener un

conocimiento profundo de las instalaciones, así como determinar la eficiencia y las posibilidades de mejora, modernización y ahorro de las mismas, información que nos ayuda a resolver problemas y/o implementar nuevos procesos para el beneficio de la empresa, esta herramienta es el medio de comunicación que nos permite conocer el comportamiento dinámico de nuestros sistemas energéticos. Consiste en un proceso sistemático para la evaluación, monitoreo y análisis del uso de la energía, para identificar, evaluar y ordenar las distintas oportunidades de ahorro, en función de su rentabilidad, además de la presentación de informes técnicos y financieros sobre las acciones recomendadas para aumentar la eficiencia energética de los procesos productivos [40][45]. En resumen, los objetivos de una auditoría energética son:

1. Conocer la situación energética general y puntos críticos.
2. Evaluar cuantitativamente y cualitativamente el consumo y demanda de energía actual.
3. Determinar la eficiencia energética de equipos y procesos.
4. Determinar las pérdidas en los equipos y procesos.
5. Identificar potenciales de ahorro energético y económico.
6. Establecer indicadores energéticos de control y estrategias de operación y mantenimiento.
7. Definir acciones y proyectos para ahorrar energía y reducir costos energéticos, evaluados técnica y económicamente.
8. Analizar la factibilidad técnica y económica de la implementación de energías limpias en los procesos productivos [39][40].

El término auditoría energética es muy amplio por lo que es preciso especificar los tipos de energía que se audita y los alcances que estos tendrán, ya que se requiere de equipo y personal especializado para cada forma de energía que se desea evaluar, existen auditorías que se basan solo en energía eléctrica, así como solo energía térmica, etc. Es importante tener presente que las Auditorías Energéticas es una herramienta muy útil, pero que no economiza energía por sí misma, es un medio para llegar a un fin, por esto se requiere la

implementación de las recomendaciones generadas a partir de la auditoría ya que estas son las que conllevan a optimizar la eficiencia energética.

Un punto importante al tratar con tema de eficiencia energética es identificar los distintos términos o técnicas que se emplean para lograr la eficiencia energética: diagnóstico, asesoría y auditoría energética

Un diagnóstico, consiste en la recopilación y análisis de información histórica y estadística en cuanto al uso de la energía en una empresa, incluye actividades como registro de datos, evaluación del estado de eficiencia actual así como el diagnóstico general de las instalaciones.

Asesoría energética, consiste en un registro eléctrico general, toma de medidas específicas, recomendaciones generales para aumentar la eficiencia de las instalaciones y sistemas.

Auditoría energética consiste en la inspección, estudio y análisis de los flujos de energía, incluye actividades como mediciones puntuales, registro y monitoreo, inventario de equipo y cargas, que permite identificar e implementar medidas de ahorro de energía adaptadas a cada industria así como un estudio técnico económico de las recomendaciones propuestas
[40]

Clasificación de las auditorías energéticas

Una auditoría energética puede llevarse a cabo por áreas, procesos, o empresas completas. También puede clasificarse como auditorías eléctricas o térmicas, por lo que su nivel de complejidad está en función de las instalaciones, necesidades, expectativas y recursos destinados para este fin, por lo tanto el tiempo de ejecución puede variar de semanas a meses.

Una auditoría energética puede ser enfocada a áreas específicas dentro de una empresa como lo puede ser el área administrativa, área de producción, transporte (bandas transportadoras), así mismo se puede llegar lugares más específicos como determinada oficina, cafetería, o el área de calderas.

También puede realizarse por uso o sistemas, tal es el caso del sistema de iluminación, sistema de climatización o refrigeración, por actividades de oficina o generación de vapor. Así mismo puede dirigirse a procesos o líneas de producción específicos como empaque, secado, estampado etc. [40][45].

Además podemos clasificar una auditoría energética de acuerdo al nivel de profundidad y especialización que esta tenga, existiendo tres niveles los cuales según distintos autores los denominan como A, B, C o 1, 2, 3.

En general, una auditoría energética comprende las siguientes actividades:

1. Reunión inicial en la empresa.
2. Determinación de las áreas, sistemas y equipos a evaluar.
3. Determinación de la información necesaria para el diagnóstico.
4. Planeación de los recursos y el tiempo.
5. Revisión general sensorial del lugar a auditar.
6. Recopilación de información.
7. Elaboración del plan de mediciones y registro de datos.
8. Mediciones en campo, recopilación y filtrado de los datos.
9. Elaboración de balances de energía.

10. Procesamiento de datos y análisis de resultados.
11. Generación de indicadores y caracterización energética.
12. Determinación del estado actual energético de la instalación.
13. Determinación de posibles medidas de ahorro.
14. Evaluación técnica y económica de las recomendaciones.
15. Definición de medidas de ahorro y proyectos de mejora de la eficiencia energética.
16. Elaboración y presentación del informe final de la auditoría.

Auditoría de primer nivel: también conocido como auditoría preliminar o diagnóstico energético, corresponde básicamente al levantamiento energético de las instalaciones con sus ineficiencias o pérdidas de energía más evidentes, entregando información básica para llevar a cabo las primeras acciones en cuanto a eficiencia energética, se lleva al cabo mediante un examen visual del proceso industrial de que se trate, reconociéndolo y revisando el diseño original, para dar una idea cualitativa de los ahorros potenciales, obvios de energía, que pueden lograrse por medio de procedimientos de mantenimiento y operación. Consiste en la inspección visual del estado de conservación de las instalaciones, en el análisis de los registros de operación y mantenimiento que rutinariamente se llevan en cada instalación, así como, el análisis de información estadística de consumos y pagos por concepto de energía eléctrica y combustible [40].

El costo de este nivel de diagnóstico suele ser relativamente bajo ya que no se emplean instrumentos especializados para la ejecución, es el análisis sensorial (vista, oído, tacto) y estadístico, por lo general no requiere demasiado tiempo y no se realiza ningún tipo de medición. Las recomendaciones suelen ser medidas las cuales requieren un bajo costo para su implementación.

Los principales objetivos de este nivel de auditoría es establecer la realidad de la situación energética general de una empresa, identificar cuanto se usa y que impacto económico tiene, áreas de mayor consumo, hacer una pre visualización o hipótesis acerca de las pérdidas de energía e identificar algunas oportunidades de ahorro muy evidentes.

Dentro de lo que se conoce como diagnóstico energético, se pueden identificar tres tipos de diagnósticos que son situacional, contextual y coyuntural.

Diagnóstico situacional, es la descripción y explicación del estado actual de la empresa tomando en cuenta las actividades y/o servicios producidos y utilizados, determina su situación actual y responde a la pregunta ¿Cómo llegue aquí? Se orienta a describir los problemas y potencialidades más relevantes relacionadas a las materias energética, económica, industrial y ambiental, que permitirán formular una propuesta de desarrollo e intervención en el ámbito energético.

Diagnóstico contextual, en él se identifica y analizan los factores externos con los que interactúa, cuáles los problemas y necesidades a satisfacer, las características del medio que pueden favorecer la acción y entorpecerla o frustrarla. Implica detectar las tendencias políticas, sociales, demográficas, económicas, demanda, oferta, y contrastarlas contra sus posibilidades físicas, recursos humanos, presupuesto, etc.

Diagnóstico coyuntural, es una de las partes más sensibles y más orientadas al futuro de la empresa, es una derivación del método general de planeación estratégica que incluye el denominado FODA. El análisis de FODA es una técnica que permite identificar y evaluar los factores positivos y negativos del “ambiente externo” y del “ambiente interno”, y adoptar decisiones sobre objetivos, cursos de acción y asignación de recursos sustentados en este análisis.

Auditoría de segundo nivel: Tiene el propósito de conocer las fuentes de energía, sus usos en procesos, subprocesos, áreas o dispositivos específicos, para identificar, evaluar y calcular de manera precisa los potenciales mejoramiento de la eficiencia, mediante la aplicación de medidas y tecnologías especializadas, su alcance puede abarcar la totalidad de los recursos energéticos de la empresa, o solo un tipo de energético.

Consiste en el desarrollo del balance energético en condiciones reales de operación de áreas, equipos y sistemas para determinar su eficiencia energética e índices de consumos. Estos valores se comparan con el análisis detallado de los registros y valores

nominales de diseño. A partir de la comparación se establecen las desviaciones y se buscan sus causas.

Su costo puede ser considerable ya que además del recurso humano se requiere realizar algunas mediciones específicas, previstas en la auditoría de nivel uno, su duración es mayor que la auditoría preliminar por lo que dependiendo de su nivel de complejidad puede ir de semanas a meses.

Auditoría de tercer nivel: también conocido como auditoría especializada suele comenzar con un diagnóstico de segundo nivel, es una evaluación más profunda a la obtenida en el nivel dos, llegando al detalle de toma de registros por aparato, medición de otros parámetros como calentamientos en diferentes partes de la distribución del energético, calidad de la energía, inventario completo de los equipos consumidores de energéticos,

El nivel de especialización puede aplicarse a distintas áreas como lo es eléctrica, térmica o ambas, no obstante, dentro de cada una de estas especialidades es posible enfocar una auditoría en temas más específicos de cada especialidad.

Si bien existen tres niveles en la clasificación de acuerdo a la profundidad y nivel de detalle en cuanto a las auditorías energéticas, se establece una clasificación adicional que se denomina auditoría de seguimiento, la cual es parte del proceso de evaluación y mejora continua para lograr el éxito en cuanto a las metas especificadas en cada nivel de una auditoría.

Un sistema de seguimiento es el medio por el cual las actividades de un programa de energía son monitoreadas. El sistema deberá estar centralizado y disponible para todos para medir y verificar los avances hacia las metas, plazos y fechas límite. El mantenimiento de un sistema de seguimiento le permite evaluar las medidas necesarias, las medidas correctivas e identificar los casos de éxito y donde no se logren los objetivos siendo esta una herramienta útil para detectar a tiempo problemas de ejecución o planeación y hacer las modificaciones correspondientes. La revisión periódica de las actividades descritas en el plan de acción es fundamental para alcanzar las metas de desempeño energético.

Al terminar una auditoria se debe generar un reporte en el que se indiquen los siguientes puntos principales.

1. Resumen ejecutivo.
2. Objetivos generales y específicos.
3. Justificación.
4. Resultados y diagnóstico energético.
5. Medidas o recomendaciones para aumentar la eficiencia energética.
6. Evaluación técnica-económica de las recomendaciones.
7. Conclusiones.

Caracterización Energética

La caracterización energética es la columna vertebral de cualquier diagnóstico, asesoría o auditoria, es la traducción de todas las características de una empresa, área o línea de producción, a términos energéticos cualitativa y cuantitativamente, consiste en el conocimiento profundo del comportamiento de la energía dentro de los distintos procesos y el análisis de los puntos de desperdicio energético, con la finalidad de buscar alternativas para minimizar aquellos puntos significativos que permitirán un ahorro de energía sostenido. Esto es un procedimiento de acopio y manejo de información que nos permite conocer la forma en que la empresa adquiere, administra y utiliza todos los tipos de energía que requiere en sus procesos productivos, algunos de los puntos principales de información que se requieren para una caracterización energética confiable son:

1. Consumos energéticos mensuales por tipo de energía de los últimos años.
2. Pagos realizados por los consumos energéticos por tipo de energía de los últimos años.
3. Tarifas, y características del contrato de la compañía suministradora.
4. Producción mensual realizada en determinado período de tiempo.
5. Diagrama unifilar y general del proceso productivo de la empresa.

6. Censo de carga eléctrica de los equipos que posee la empresa.
7. Identificación de los procesos más intensivos y consumidores de energía.
8. Detalles técnicos de los equipos que utiliza la empresa incluyendo antigüedad, tecnología que utiliza, eficiencia esperada, etcétera.
9. Historial y programa de mantenimiento preventivo de los equipos.

Medición, Monitoreo y Control.

Tres conceptos que en conjunto brindan una amplia capacidad de diseñar, implementar y mantener un sistema para el ahorro y uso eficiente de la energía.

Medición, es la acción por medio de la cual se lleva a cabo el registro numérico de magnitudes físicas por medio de dispositivos de medición los cuales cuentan con las características necesarias para comparar las magnitudes medidas con escalas normalizadas para así brindar las unidades correspondientes a cada medición, información valiosa para conocer el estado actual y establecer el estado deseado.

Monitoreo consiste en registrar las variables energéticas, las cuales aporten información relevante y útil, que describa el comportamiento de un equipo, sistema o área de determinada empresa, además permite establecer criterios para evaluar cuando el sistema presenta variaciones respecto al funcionamiento normal. Según el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) al instalar un sistema de monitoreo de energía eléctrica, se tienen ahorros promedios del 1% [40].

Control, consiste en influir en el comportamiento de un equipo, área o sistema determinado. En el caso del ahorro y uso eficiente de la energía el control juega un papel importante ya que según las características tarifarias, el consumo de energía no es proporcional al precio final de la misma, sino que influyen factores como la demanda, horario de consumo entre otros.

Inventario de cargas

Inventario es un concepto ampliamente utilizado en distintos ámbitos y distintos sectores, en el sector energético, este término se emplea como una herramienta para caracterizar una empresa en términos energéticos, consiste en un listado de las cargas eléctricas que operan en un determinado circuito, sistema o área, contiene la potencia eléctrica nominal de cada dispositivo, y así como la corriente que demanda la totalidad de equipos conectados, esta información está disponible en los datos de placa de cada equipo, cabe mencionar que se considera una carga o receptor eléctrico todo dispositivo que requiere de electricidad para su funcionamiento o que convierta la energía eléctrica en otro tipo de energía.

Para facilitar la tarea de hacer un levantamiento de datos eléctricos una herramienta muy útil es el diagrama unifilar de la instalación, esto es la representación gráfica de un sistema eléctrico en el cual se muestra toda la información de los elementos que constituyen el sistema eléctrico, los objetivos del diagrama unifilar son, permitir una representación del sistema en forma más simple y mostrar únicamente los datos más importantes o características del sistema. Sin embargo un diagrama unifilar no sustituye el recorrido físico por la instalación eléctrica ya que por medio de este es posible detectar aspectos que no son visibles en un diagrama por más detallado que este sea [40].

Equipo especializado para la ejecución de una auditoría energética

Desde hace mucho tiempo, se han realizado mediciones a parámetros eléctricos como corriente, voltaje o potencia mediante amperímetros, voltímetros o vatímetros, sin embargo estos equipos tienen grandes limitaciones para el nivel de medición y control que se requiere para detectar problemas con el uso eficiente la energía. Estos miden únicamente los valores medios o eficaces por lo que es imposible detectar por medio de estos la calidad de la energía, y no son capaces de registrar los valores medidos, además de no tener opción a mantener una comunicación remota.

La medida de los parámetros eléctricos en una instalación es uno de los puntos clave para poder realizar el análisis, detección y planificación de las acciones a realizar para optimizar el consumo.

La información obtenida de los equipos especializados de medición, registro, control y monitoreo de parámetros eléctricos es esencial para diseñar un plan para el ahorro y uso eficiente de la energía ya que brinda información valiosa real y confiable sobre aspectos clave que permiten llevar a cabo análisis y detección temprana de problemas no evidentes como: demanda máxima, calidad de la energía, armónicos, carga de transformadores.

Para poder realizar una correcta gestión de la demanda así como control de consumo ya sea en tiempo real como por medio de un plan especializado, con el objetivo de realizar una auditoría energética o de aprovechar las ventajas tarifarias que se derivan de la apertura del mercado eléctrico, es necesario conocer con certeza, las características eléctricas específicas de cada empresa, internas y externas tanto de la instalación eléctrica como de los sistemas de suministro que permita al negociador usuario, seleccionar al proveedor que satisfaga las necesidades particulares que la empresa requiera, con la mejor oferta económica, incluyendo las proyecciones necesarias para estimar el costo de la energía en un futuro a corto, mediano y largo plazo según las características del contrato.

Analizador de redes eléctricas

Mide, calcula y registra en memoria los principales parámetros eléctricos en sistemas monofásicos y trifásicos, cuenta con 4 entradas de voltaje y 4 entradas de corriente con periodos de medición programables y periodos de tiempo que varían según la capacidad de memoria y batería del dispositivo, además de contar con un software para programar, y analizar y un puerto de comunicación, algunos cuentan con pantalla para la visualización de información y botones de navegación, además de accesorios intercambiables para la medición de voltaje y corriente.

Contadores de energía.

Es un dispositivo parecido a un analizador de redes sin embargo carece de medición y registro de algunos parámetros, por lo que según las características que se busque medir puede ser el dispositivo correcto, las principales función del contador es la medida de tensión e intensidad para de esta manera poder calcular la energía tanto activa como reactiva, cuenta con un registrador que almacena los registros efectuados y calculados por el contador en periodos determinados además del tarificador que provee la capacidad de programar un calendario con las características de facturación y maxímetro que mide y registra la potencia instantánea promediada durante un periodo de tiempo, lo que es en el sistema de facturación, demanda facturable y finalmente una función principal en los contadores es el módulo de comunicación por el que se puede además de programar, descargar la información e informes que se generan con este dispositivo.

Amperímetros

Existen una variedad de presentaciones de amperímetros cada uno para una aplicación diferente pero que tienen en común el mismo objetivo, medir la corriente que fluye a través de un conductor, aunque en la actualidad los más utilizados son los digitales, pinzas amperimétricas o de lazo.

Una pinza amperimétrica, o lazo es un comprobador eléctrico que combina un voltímetro con un medidor de corriente tipo pinza. Las pinzas amperimétricas actuales cuentan con la mayoría de funciones básicas de un multímetro digital, pero con la prestación añadida de un transformador de corriente integrado en el producto. Este tipo de medidor permite evitar el inconveniente de tener que abrir el circuito en el que se quiere medir la corriente para colocar un amperímetro clásico.

El funcionamiento de la pinza se basa en la medida indirecta de la corriente circulante por un conductor a partir del campo magnético o de los campos que dicha circulación de corriente que genera. Recibe el nombre de pinza porque consta de un sensor, en forma de pinza, que se abre y abraza el cable cuya corriente queremos medir. Por otra parte, es

sumamente seguro para el operario que realiza la medición, por cuanto no es necesario un contacto eléctrico con el circuito bajo medida ya que, en el caso de cables aislados, ni siquiera es necesario levantar el aislante.

Multímetros

El multímetro es un instrumento de medición capaz de realizar distintas mediciones eléctricas de ahí su nombre “multi” múltiples “metro” medidas, dentro del instrumento podemos distinguir tres mediciones diferentes con las que realizaremos las lecturas más comunes óhmetro, voltímetro y amperímetro en CC y AC y otras de no menor importancia esta la medición de continuidad, diodos, transistores y temperatura.

Es comúnmente utilizado para medidas puntuales de variables eléctricas, regularmente miden un solo parámetro eléctrico monofásico a la vez, aunque los más avanzados cuentan con sistemas de registro por lo que pueden utilizarse en ocasiones como contadores de energía.

Medidor de temperatura y humedad (Termohigrómetro)

Existe una gran variedad de instrumentos para la medición de variables eléctricas, sin embargo para la medición de humedad existe un poco menos de variedad, un dispositivo fiable el cual es muy útil al unir las características de ambos instrumentos se denomina termohigrómetro el cual como su nombre lo indica tiene la capacidad de medir temperatura y humedad, Termo “temperatura” higrómetro “Humedad”.

La temperatura se mide por los cambios en la resistencia eléctrica debido al calor, la humedad relativa del aire es el porcentaje de saturación de vapor de agua en aire y se calcula con los cambios en la resistencia eléctrica causadas por los cambios de humedad. Los termohigrómetro digitales se actualizan continuamente y muestran las mediciones numéricas en la pantalla cuando se enciende.

Cámara termográfica

Una cámara termográfica es un dispositivo de medición especializado de alta tecnología para medir la temperatura sin necesidad de contacto físico con la superficie a medir, con alta rapidez y precisión. Las cámaras termográficas detectan la energía infrarroja emitida, transmitida o reflejada por todos los materiales a temperaturas superiores al cero absoluto (0° Kelvin) y convierten el factor de energía en una lectura de temperatura o termograma. Un termograma es la imagen térmica del objeto que está emitiendo, transmitiendo o reflejando la energía infrarroja, mostrada por la cámara, por medio de la cámara termográfica se podrán detectar problemas en las instalaciones eléctricas que producen un aumento de calentamiento en los conductores y que podrían ocasionar graves accidentes.

Además de sistemas eléctricos la cámara termográfica también suele ser utilizada en sistemas mecánicos ya que estos al desgastarse, al bajar su eficiencia, al presentar problemas de lubricación o refrigeración, al operar en sobrecarga, o al presentar fallas en rodamientos producen un incremento de calor el cual puede ser detectado fácilmente por medio de la termografía.

Medidor de flujo de aire

Un anemómetro es un instrumento para medir la velocidad o rapidez de los gases ya sea en un flujo contenido, como el flujo de aire en un conducto, o en flujos no confinados, como un viento atmosférico, un anemómetro puede medir la magnitud de la velocidad total, la magnitud de velocidad en un plano, o el componente de velocidad en una dirección específica.

Se utiliza para medir de manera sencilla el flujo y velocidad del aire. Es ideal en aplicaciones en las que se necesita tener precisión y control, como extractores de aire, instalación de sistemas de ventilación o aire acondicionado. Las mediciones que muestra el anemómetro son en tiempo real, también tiene función de lectura de valores máximos y mínimos.

Tacómetro

Su origen etimológico proviene del griego de la suma de dos componentes de esta lengua “takhos”, que puede traducirse como rapidez y “metron”, que es sinónimo de medida.

Tacómetro es el nombre del dispositivo que se encarga de medir la cantidad de revoluciones de un eje RPM, en sus orígenes, los tacómetros eran mecánicos y medían la fuerza centrífuga. Actualmente la mayoría de los tacómetros son digitales ya que resultan mucho más precisos, existen dos tipos de tacómetros muy utilizados: el tacómetro óptico y el tacómetro de contacto.

Este tipo de instrumentos son óptimos para establecer las revoluciones de máquinas, piezas e instalaciones giratorias.

Luxómetro

La función principal de este dispositivo es medir la iluminancia en lux sobre una superficie o a una distancia determinada, es decir, medir el nivel de iluminación. Es un aparato sencillo formado por un analizador electrónico y una sonda fotosensible.

Para medir la iluminancia con este aparato es necesario ubicar la sonda donde se desea realizar la medición, sobre una superficie, o bien a una altura determinada. Si por ejemplo se quiere medir el nivel de iluminación a la altura del plano de trabajo, hay que situar la sonda a 85 cm del suelo, o a otra distancia que se tome de referencia para el plano de trabajo. Cuando el aparato refleja el valor medido se hace la lectura.

Equipo de cómputo

A pesar de no ser un dispositivo de medición, el equipo de cómputo es indispensable para realizar el análisis de la información obtenida mediante los instrumentos especializados, además de contener los softwares de comunicación y control de estos dispositivos.

Gestión de la demanda

La electricidad no puede ser almacenada a gran escala con costos viables, por lo que la generación en las distintas centrales eléctricas debe ser igual a la demanda en cada instante, esto es demanda más las perdidas asociadas al transporte y transformación de la energía, la demanda varía según lo hábitos de consumo y las cargas conectadas al servicio eléctrico o estación del año, por otra parte con las distintas tecnologías de generación en las distintas centrales, la generación tiene distintos costos y mientras se presenta una demanda baja se puede satisfacer con centrales de alta eficiencia o bajo costo de combustibles mientras que de crecer la demanda, se requiere la entrada de unidades de baja eficiencia o de altos costos de combustible, lo que encarece la electricidad, esto se conoce como perfil de la demanda y distribución horaria de precios de la energía eléctrica.

La demanda tiene patrones, diarios, mensuales y estacionales con tendencia a la alza a largo plazo debido al crecimiento tanto de la población como de la industria.

Por lo anterior, la Gestión de la demanda eléctrica se puede definir como el conjunto de diferentes medidas que persiguen influir en el consumidor y que promuevan la reducción y/o el desplazamiento del consumo eléctrico final, para que modifique su patrón de demanda, con el fin de lograr, no sólo un ahorro neto de energía, sino también un uso más eficiente de la misma.

Es por esto que en tarifas como las pertenecientes a media y alta tensión se agrega el cargo por demanda facturable el cual puede ser muy alto si no se tiene un correcto control de la demanda máxima y es una importante área de oportunidad en un plan para el ahorro y uso eficiente de la energía.

A nivel usuario se pueden realizar actividades para la gestión de la demanda, esto puede ser mediante un sistema automatizado de gestión de la demanda en el cual se establece la demanda máxima y una vez que la demanda real se aproxima a la establecida el controlador va realizando una desconexión paulatina de cargas para nunca sobrepasar la demanda

máxima, esta actividad también puede realizarse manualmente por medio de una buena planeación y administración de los recursos energéticos.

El objetivo no es precisamente tener un consumo menor, sino administrar la demanda a lo largo del tiempo para tener una demanda “plana” y eliminar lo “picos” que pudieran presentarse.

Motores eléctricos, clasificación y características principales

El motor de inducción trifásico es el tipo de maquina eléctrica rotativa más utilizada dentro del ámbito industrial, son motores asíncronos, es decir, motores que trabajan a velocidades distintas a la de sincronismo.

El uso de este tipo de motores se ha incrementado de con el paso de los años, ya que es una máquina eléctrica que tiene un bajo costo y además, su mantenimiento es mucho menor sobre todo cuando el modelo es jaula de ardilla.

Se estima que casi la mitad de la energía eléctrica consumida a nivel mundial, se da por el uso de los motores de inducción trifásicos, de esta manera se confirma la teoría de que es el tipo de motor más utilizado dentro de la industria contemporánea.

Una de las características más importantes de los motores de inducción trifásicos son los altos niveles de eficiencia que ofrecen.

El motor de inducción trifásico está formado como la gran mayoría de máquinas rotativas por un rotor y un estator. La parte en movimiento o rotor, puede ser rotor de jaula de ardilla o rotor de anillos.

La carga

La carga es la que define la potencia y velocidad de un motor respecto a los valores nominales. Máquinas como bombas y ventiladores tienen un comportamiento específico diferente de molinos, trituradoras y diferente de bandas transportadoras o de máquinas herramientas o elevadores. En todas estas máquinas, los torques de arranque son diferentes y con toda seguridad, los ciclos de trabajo varían de una instalación a otra [50].

Datos Nominales de los Motores Eléctricos

1. Potencia kW o HP
2. Tensión de Servicio kV o V
3. Frecuencia Hz
4. Corriente Nominal Amp.
5. Corriente de Arranque Amp.
6. Factor de Potencia $\cos\theta$
7. Eficiencia %

Buenas prácticas en el uso de motores eléctricos

La eficiencia de un dispositivo no es el único factor que interviene en la construcción de un sistema para el ahorro y uso eficiente de la energía, existen otros factores que son significativos por lo tanto aportan en la reducción de costos asociados al consumo de energía.

1. selección correcta de la potencia del motor
2. mejorar la calidad de la energía eléctrica
3. reducir la carga mecánica sobre el motor
4. usar motores de alta eficiencia
5. usar controladores electrónicos de velocidad
6. aplicar métodos de mantenimiento centrados en la eficiencia y el usar métodos de reparación que mantengan la eficiencia del motor.

Selección correcta de la potencia del motor

Un principio fundamental para el uso eficiente de la energía es hacer una adecuada selección de la potencia nominal de los motores, se recomienda que la potencia nominal este sobredimensionada en 5 a 15% respecto a la potencia de operación del motor, con el objetivo de que el motor opere con una eficiencia y un factor de potencia adecuados para el cual los niveles óptimos se presenta cuando el motor opera entre el 75 y 85% de la potencia nominal.

Cuando un motor está sobredimensionado por encima del 25% de la potencia de operación, el factor de potencia del motor disminuirá y esto provocará un aumento en la corriente del motor, aumentando así las pérdidas en las líneas y el consumo de la potencia reactiva, además de que incrementa significativamente la inversión inicial del motor así como de la instalación ya que esta se calcula en relación a la potencia del motor además de operar con una eficiencia menor a la nominal [50].

El cálculo de la potencia depende del tipo de carga del motor siendo desde S1 hasta S9 según IEC siendo el tipo más común la carga de servicio continuo. Los tipos de servicio continuo pueden ser de carga constante o variable. Para las cargas de servicio continuo con carga constante se recomienda seleccionar una potencia nominal de aproximadamente 15 % mayor a la carga constante del motor.

Asegurar la calidad de la energía.

Los motores cuentan con la especificación de condiciones nominales de operación y de alimentación, por lo que se debe asegurar que sean alimentados de manera adecuada en cuanto a los valores nominales que demanda para que pueda desempeñarse a los niveles nominales de operación.

En el caso real, en el sistema eléctrico público existen diversos factores que alteran las características de suministro, del origen externo e interno, resultando distorsiones en la simetría, forma de onda y magnitud de los valores de alimentación nominales.

Si la calidad de la potencia eléctrica entregada por la red es baja el motor operará con mayores pérdidas y disminuyendo su tiempo de vida. Por lo tanto es importante se verifique el grado de calidad de la potencia eléctrica de las instalaciones eléctricas [50].

Mantener los Niveles de Tensión cercano al Valor Nominal.

Cuando el motor opera a potencia nominal es recomendable que la tensión del motor sea muy cercana al valor de la tensión nominal con una desviación máxima del 5%. A pesar que los motores con Normas NEMA están diseñados para operar con una desviación

máxima de 10% el voltaje nominal, las variaciones de tensión afectan significativamente la eficiencia, el factor de potencia y el tiempo de vida.

% del voltaje nominal	90	95	100	105	110
Eficiencia a carga nominal	0.905	0.915	0.92	0.925	0.92
Factor de potencia a carga nominal	0.9	0.89	0.88	0.87	0.86
Deslizamiento a carga nominal	1.23	1.11	1	0.91	0.83
Corriente a carga nominal	1.1	1.04	1	0.956	0.935
Carga para eficiencia máxima	0.73	0.81	0.9	1	1.1
Elevación de temperatura a carga nominal	1.11	1.05	1	0.925	1.01

Tabla 2 Variación de las características de operación a cargas parciales Fuente: Linders J. Effects of Power Supply Variations on AC Motor Characteristics. IEEE. [42]

Reducir la carga mecánica sobre el motor

Cuando se analiza la eficiencia de un sistema accionado por un motor, una pregunta fundamental que en ocasiones es invisible, es si la carga que el motor mueve puede ser reducida o incluso si la operación de la carga aun es necesaria dentro del proceso productivo.

Sirve de muy poco optimizar el motor y sus controles, si la carga accionada y su proceso son ineficientes. Las recomendaciones para reducir la carga sobre el motor son:

Usar motores eléctricos de alta eficiencia

Los motores eléctricos de alta eficiencia, son motores de diseño y construcción especial que presentan menos pérdidas que los motores eléctricos estándares descritas en la norma NEMA e IEC 60034-30-1.

Una menor pérdida de potencia hace que el motor tenga una mayor eficiencia es decir que consuma menos energía para realizar el mismo trabajo que un motor normal.

Los estudios técnicos y económicos muestran que si se analiza a 10 años, de los costos totales del motor el costo de compra es de 1%, el costo de la energía es de 95 %, costo de mantenimiento 3 %, el costo de ingeniería y logística 1%.

Así el costo de compra del motor es poco significativo respecto al costo total de operación, por eso al seleccionar motores eléctricos debemos de considerar además del costo inicial de compra el análisis económico de la operación.

Consideraciones generales para la selección de un motor de alta eficiencia

Generalmente se considera que 2 a 3 años es un periodo aceptable de retorno de la inversión adicional. Luego de realizar un análisis económico se recomienda la compra de motores de alta eficiencia en los siguientes casos:

1. En los motores entre 10 y 75 HP cuando operan 2500 horas anuales o más.
2. En los motores de potencia menor a 10 HP o mayor a 75 HP cuando operan 4500 horas o más.
3. Cuando se usan para reemplazar a motores sobredimensionados.
4. Cuando se aplican conjuntamente con Variadores electrónicos de frecuencia para accionar bombas y ventiladores.

Evaluación Económica para la Aplicación de Motores de Alta Eficiencia.

Una herramienta irrefutable que es de bastante utilidad a la hora de tomar decisiones que impliquen inversiones de capital sin duda es el análisis económico, al comparar económicamente dos motores de la cuando se comparan económicamente dos motores de la misma potencia pero de diferente eficiencia nominal, es necesario determinar los ahorros generados por el motor de mayor eficiencia y compararlos con el incremento en la inversión que representa. Como regla general se considera un periodo aceptable alrededor de 3 años para obtener el retorno de la inversión adicional [62][50].

El ahorro anual de dinero al aplicar un motor de alta eficiencia se puede calcular usando la siguiente ecuación:

$$S = 0.746 * Hp * F * P * T \left(\frac{100}{\eta_a} - \frac{100}{\eta_b} \right)$$

Donde:

S Ahorro en pesos por año

HP Potencia de placa en HP

F Factor de carga

P Precio de la energía en pesos por kWh

T Tiempo de funcionamiento

η_a Eficiencia motor A

η_b Eficiencia motor B

Al realizar un análisis económico a largo plazo es necesario tomar en cuenta el valor del dinero en el tiempo, de esta forma, el valor real de dinero ahorrado al finalizar cada año será:

Valor Presente = Ahorro anual x Factor de descuento

$$\text{Factor de descuento} = \frac{1}{\left(1 + \frac{\text{tasa de interes en \%}}{100}\right)^{\text{año que transcurre}}}$$

Como el análisis se hace para un periodo de varios años, generalmente 10 años, el Valor Presente Neto en cada año se obtiene al multiplicar el valor del ahorro anual por el factor de descuento y después restarle el costo de la inversión realizada. El costo de la inversión es el costo adicional pagado por el motor de alta eficiencia, esto es:

Valor Presente Neto = ahorro anual x factor de descuento – costo de la inversión

Es importante considerar la elevación del costo de la energía año a año, y la depreciación del motor. Estos aspectos deben usarse para calcular el valor presente neto año a año. La inversión se recupera cuando el valor presente es igual a cero y se considera que un tiempo aceptable es de 2 a 3 años.

Usar controladores electrónicos de velocidad

Es importante que el motor y el equipo operen en su punto óptimo de operación, es decir que el motor consuma la energía necesaria para mover la carga y la velocidad de operación de la carga sea la que corresponda a su eficiencia máxima.

Variadores Electrónicos de Velocidad

El punto óptimo de operación de los motores eléctricos generalmente no ocurre a la velocidad nominal del motor ni a la tensión nominal del motor. Actualmente los variadores electrónicos de velocidad permiten que el motor trabaje muy cerca del punto óptimo de operación.

Los variadores electrónicos de velocidad permiten regular el torque que entrega un equipo sin necesidad de recurrir a opciones antieconómicas, que demandan más energía de la requerida o que son impracticables en muchos casos. Estos dispositivos permiten lograr considerables ahorros de energía en la operación de los motores eléctricos y otros beneficios adicionales, tales como prolongación de la vida útil de los equipos accionados por los motores, menor ruido, menos desgaste, mejor control y posibilidades de regeneración, en relación a los motores que no disponen de este dispositivo.

Estudios realizados por Harwell [29] y Malinowsky [30] muestran que las bombas requieren 31% de la energía usada, los compresores 18%, los ventiladores y secadores 18% y las bandas transportadoras cerca del 14%. Las cargas que tienen momento variable son las mejores candidatas a adicionar un VFD para ahorrar energía. Los ventiladores y bombas centrifugas son cargas de torque variable.

Reparación Eficiente de los Motores Eléctricos.

Los estudios muestran que el rebobinado del motor mediante técnicas inadecuadas reduce la eficiencia del motor entre 2 % a 4% [51].

Es importante considerar que la eficiencia del motor cae en cada reparación, si esta es inadecuada, por lo que es importante conocer la eficiencia del motor reparado.

El arranque

Por sus características, el motor jaula de ardilla consume durante el arranque una corriente de hasta 5 veces la corriente nominal, el arranque es el periodo en el que el motor hace la transición desde su estado de reposo hasta su velocidad nominal.

Las características de curva de carga y momento de inercia tanto de motor como de carga, deberían ser consideradas en este análisis. Junto con criterios técnicos se considerarán criterios económicos.

Sistemas de iluminación

La iluminación es parte importante en el de ahorro y uso eficiente de la energía, ya que a pesar de representar bajas cargas unitarias, en conjunto puede ser significativo en la facturación, por lo que es imprescindible contar con un sistema eficiente de iluminación.

Existe una relación directa entre la calidad de los productos finales y la calidad de las instalaciones. Una buena iluminación aumenta el confort y la seguridad del trabajador, reduce el nivel de errores y estimula al personal a mejorar su rendimiento, por este motivo es importante hacer un buen diseño y elección del sistema de iluminación que cumpla con los niveles mínimos de iluminación según las actividades que se realicen establecidos en la NOM-025-STPS-2008 y los niveles de eficiencia establecidos en las distintas NOM.

Para comprender y administrar el sistema de iluminación es necesario conocer conceptos relativos al sistema de iluminación. Fotometría es la ciencia que se encarga de la medida de la luz como el brillo percibido por el ojo humano, estudia la capacidad que tiene la radiación electromagnética de estimular el sistema visual.

Flujo Luminoso: Mide la potencia o caudal de energía de la radiación luminosa es decir cantidad de luz emitida durante un segundo y que produce sensación luminosa en el ojo humano, se mide en Lúmenes.

Intensidad luminosa: es el concepto de la concentración de luz en una dirección específica, radiada por segundo, es el flujo luminoso en una determinada dirección, radiado por unidad de ángulo sólido, se designa con el símbolo I, la unidad es la candela (cd).

Luminancia es la relación entre la intensidad luminosa de una superficie en una dirección determinada y el área de proyección de la misma sobre un plano perpendicular a la dirección que se está considerando se mide en candelas por metro cuadrado.

Iluminancia: Flujo luminoso incidente (lumen) por unidad de superficie (área), se puede definir como la iluminación de una superficie de 1 m^2 cuando sobre ella incide, uniformemente repartido, un flujo luminoso de 1 Lumen, su unidad es el lux.

Eficiencia luminosa es la relación entre el flujo luminoso emitido por una lámpara y la potencia absorbida por la misma se expresa como $\eta = \frac{lm}{P}$

Magnitud	Símbolo	Unidad del SI	Abreviatura	Notas
Energía luminosa	Qv	Lumen segundo	Lm·s	Avece se usa la denominación talbot ajena al SI
Flujo luminoso	F	Lumen	Lm	Medida de la potencia luminosa percibida
Intensidad luminosa	Iv	Candela	cd	Una unidad básica del SI
Luminancia	Lv	Candela por metro cuadrado	cd/m^2	A veces se usa la denominación nit ajena al SI
Iluminancia	Ev	Lux	lx	Usado para medir la incidencia de la luz sobre una superficie
Emitancia luminosa	Mv	Lux	lx	Usado para medir la luz emitida por una superficie
Eficacia luminosa	η	Lumen por Watt	lm/W	Razón entre flujo luminoso y flujo radiante o potencia absorbida

Tabla 3 Conceptos de iluminación

También es importante distinguir entre conceptos similares como:

1. Lámpara: Dispositivo que produce un haz de luz.
2. Luminaria: Dispositivo que sirve de soporte y conexión a la red eléctrica a la lámpara.
3. Sistema de alumbrado: Conjunto de todos los dispositivos anteriores al que se le pueden agregar más elementos.

Tipos de iluminación

Iluminación general, provee un nivel de iluminación uniforme en toda el área de la nave industrial. Se determina principalmente por la altura disponible para el montaje de las luminarias, para áreas de altura baja hasta 7m usualmente se utilizan fluorescentes tubulares, para alturas medias de 7 a 12 m se utilizan fluorescentes tubulares o lámparas de descarga de alta intensidad y para áreas altas de más de 12 m se utilizan fuentes de luz puntuales.

Iluminación localizada, provee un nivel de iluminación específica en el puesto de trabajo.

Clasificación de las fuentes luminosas

Cada vez existe una mayor variedad de tecnológicas de iluminación cada una con características muy propias en diferentes aspectos como eficiencia, niveles de iluminación, vida útil, temperatura de iluminación etc. Por lo que a la hora de hacer una elección es necesario conocer las condiciones en las que van a operar y el motivo de su implementación. Entre la clasificación de luminarias existentes en el mercado podemos encontrar:

1. Lámparas Incandescentes: normales y halógenas.
2. Lámparas de Descarga: Vapor de sodio de baja presión y alta presión, de mercurio. de baja y alta presión, mezcladoras y halogenuros metálicos, lámpara fluorescente.
3. Lámparas de inducción electromagnética.
4. Leds.

Tarea Visual del Puesto de Trabajo	Área de Trabajo	Niveles Mínimos de Iluminación (luxes)
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Exteriores generales: patios y estacionamientos	20
En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Interiores generales: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia.	50
En interiores.	Áreas de circulación y pasillos; salas de espera; salas de descanso; cuartos de almacén; plataformas; cuartos de calderas.	100
Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco y máquina.	Servicios al personal: almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia, cuartos de compresores y pailería.	200
Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina.	Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.	300
Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensamble de inspección moderadamente difícil, captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio.	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios.	500
Distinción fina de detalles: maquinado de precisión, ensamble e inspección de trabajos delicados, manejo de instrumentos y equipo de precisión, manejo de piezas pequeñas	Talleres de alta precisión: de pintura y acabado de superficies y laboratorios de control de calidad.	750
Alta exactitud en la distinción de detalles: ensamble, proceso e inspección de piezas pequeñas y complejas, acabado con pulidos finos.	Proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulidos finos.	1000
Alto grado de especialización en la distinción de detalles.	Proceso de gran exactitud. Ejecución de tareas visuales: · de bajo contraste y tamaño muy pequeño por periodos prolongados; · exactas y muy prolongadas, y · muy especiales de extremadamente bajo contraste y pequeño tamaño.	2000

Tabla 4 Condiciones de iluminación en los centros de trabajo según NOM-025-STPS-2008.

Para determinar el nivel de iluminación de determinada área la NOM-025-STPS-2008 establece lo siguiente: Las áreas de trabajo se deben dividir en zonas del mismo tamaño, de acuerdo a lo establecido en la columna número mínimo de zonas a evaluar, y realizar la medición en el lugar donde haya mayor concentración de trabajadores o en el centro geométrico de cada una de estas zonas; en caso de que los puntos de medición coincidan con los puntos focales de las luminarias, se debe considerar el número de zonas de evaluación de acuerdo a lo establecido en la columna número mínimo de zonas a considerar por la limitación.

Índice de área	Número mínimo de zonas a evaluar	Número de zonas a considerar por la limitación
IC < 1	4	6
1 < IC < 2	9	12
2 < IC < 3	16	20
3 < IC	25	30

Tabla 6 Relación entre el Índice de Área y el número de Zonas de Medición NOM-025-STPS-2008

El valor del índice de área, para establecer el número de zonas a evaluar, está dado por

$$IC = \frac{(X)(Y)}{h(X + Y)}$$

Donde:

IC Índice de área.

X y Y Largo y ancho en metros.

h Altura de la luminaria respecto al área de trabajo.

Tarifas eléctricas

Las tarifas eléctricas son las disposiciones en las cuales se establece el precio al usuario del servicio eléctrico, estas contiene todos y cada una de los conceptos que generan algún costo, se especifican las características generales y específicas de cada uno, nombrados por número y letra, cada una tiene distintos requisitos de contratación.

El precio de las tarifas eléctricas se rigen principalmente por el precio de los combustibles y la paridad peso dólar, cabe mencionar que también influyen aspectos políticos, lo que dificulta la proyección a futuro de los precios ya que modifica repentinamente los patrones de comportamiento estadístico muchas veces sin causa aparente, también el precio final se ve afectado según la tecnología con la que se generó la electricidad, en las distintas tarifas eléctricas se establecen niveles de consumo con distintos precios, así como horarios base, medio y punta como medida para evitar tener grandes picos de demanda, otro factor que influye en el costo final de la electricidad son los subsidios gubernamentales, los cuales se distribuyen en los meses de verano según la región.

Tarifas de media tensión

Tarifa	Sector	Descripción
OM	Media tensión	Esta tarifa se aplicará a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en media tensión, con una demanda menor a 100 kW
HM	Media tensión	Esta tarifa se aplicará a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en media tensión, con una demanda de 100 kilowatts o más.
HM-C	Media tensión	Esta tarifa se aplicará a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en media tensión en las regiones Baja California y Noroeste, con una demanda de 100 kilowatts o más, y que por las características de utilización de su demanda (Corta utilización) soliciten inscribirse en este servicio, el cual tendrá vigencia mínima de un año

Tabla 7 tarifas de uso general en media tensión elaboración propia con datos de CFE.

Para las tarifas de uso general en media y alta tensión, existen versiones con cargos fijos, en las que se el usuario compromete una potencia media determinada según la tarifa en los distintos periodos base, medio, semi punta, punta.

Adicional a esto se encuentran las tarifas de servicio de respaldo para media y alta tensión, y las tarifas de servicio interrumpible donde se ofrecen beneficios al usuario a cambio de un contrato con demanda fija y demanda interrumpible por lo que al aumentar la demanda del SEN la demanda interrumpible contratada puede ser desconectada hasta por 6 horas [52].

Conceptos básicos tarifa HM

Esta tarifa de uso general en media tensión se aplica a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en media tensión, con una demanda de 100 kilowatts o más por lo que la mayoría de medianas industrias, así como grandes comercios e instituciones educativas son usuarios de esta tarifa.

Algunos de los conceptos que incluye la facturación eléctrica en esta tarifa son: consumo (kWh), demanda Facturable (kW), factor de potencia (%), factura (\$) costo medio (\$/kWh).

El consumo es la cantidad de energía que literalmente se “consume” durante un periodo se mide en kilowatt-hora, es la demanda de la instalación por la cantidad de tiempo que operó, es decir un motor de 10 kW que opera durante 1 hora tendrá un consumo de 10 kWh.

La demanda eléctrica es la lectura máxima del promedio de la "velocidad" a la que se consume la energía eléctrica. Las empresas de suministro como CFE, la miden en segmentos de 15 minutos, calculados cada 5 minutos. Cualquier segmento que resulte mayor en el mes, es el que se toma para el cálculo de la demanda facturable, aun cuando en el mes esta demanda máxima haya ocurrido una sola vez.

La demanda facturable se calcula en función de las demandas máximas que ocurren en 15 minutos en base a mediciones cada 5 minutos, en los períodos base, intermedio y punta.

$$DF = DP + FRI \times \text{Max} (DI - DP, 0) + FRB \times \text{Max} (DB - DPI, 0)$$

Donde:

DP es la demanda máxima medida en el periodo de punta

DI es la demanda máxima medida en el periodo intermedio

DB es la demanda máxima medida en el periodo de base

DPI es la demanda máxima medida en los periodos de punta e intermedio

FRI y FRB son factores de reducción que varían según la región tarifaria para BC FRI 0.141
FRB 0.070.

Están presentes también, los periodos consumo de punta, intermedio y base, según la estación del año en el que se encuentre, por lo que el costo de la energía varía según el periodo en el que se consuma.

Factor de potencia, es un concepto que indica el correcto aprovechamiento de la energía como se explicó anteriormente, por lo que un bajo factor de potencia implica que el generador aumenta su capacidad de generación aumentando así los costos de esta actividad.

EL FP puede tomar valores entre 0 y 1, si es menor a 0.9 o 90% se aplica una penalización por bajo factor de potencia, mientras que si es mayor de 90% se aplica una bonificación.

Bonificación por buen FP $\frac{1}{4} \left[1 - \left(\frac{90}{FP} \right) \right] \times 100$ con un % máximo aplicable del 2.5% sobre el cargo de energía más demanda.

Penalización por bajo FP $\frac{3}{5} \left[\left(\frac{90}{FP} \right) - 1 \right] \times 100$ con un % máximo aplicable del 12% sobre el cargo de energía más demanda.

Como podemos observar el tener un bajo factor de potencia podría crear que el monto final pueda ascender a más del doble, mientras que la bonificación representaría una bonificación máxima del 2.5% [52].

Proceso de producción de papel

La producción de papel consiste en la transformación de la materia prima hasta la obtención del producto final en forma de papel, puede separarse en dos etapas básicas, la producción de pasta, que consiste en separar las fibras de celulosa de los otros componentes de la madera como hemicelulosa y lignina y la propia fabricación de papel, donde se utiliza la pasta como materia prima y se obtiene papel.

El papel, es un noble recurso que puede ser reciclado de manera relativamente sencilla, con el fin de ahorrar materia prima, energía y agua, con procesos muy similares a la producción de papel primario, disminuyendo así el impacto al medio ambiente.

El proceso inicia cuando la madera llega a las fábricas de pasta, ahí los troncos son descortezados y cortados en secciones más pequeñas o son astillados para continuar con el proceso de elaboración de pasta.

La elaboración de pasta se puede realizar mediante medios mecánicos o químicos como pasta primaria, además de la pasta a partir de papel usado o pasta secundaria.

Para separar la lignina se agregan digestores químicos además de cocer la materia prima a alta presión y temperatura para después llegar a un tanque de almacenamiento de pasta en bruto y continuar con el proceso de bloqueo, en donde se refina y aclara la pasta conservando las fibras en óptimas condiciones, en este proceso se disuelve o modifica la lignina que no se eliminó en el proceso anterior [32].

La máquina de papel, esta es la segunda etapa principal del proceso de fabricación de papel en la que diversas secciones para la fabricación de papel.

Esta se alimenta de la pasta ya sea virgen o reciclada, en ella se inicia con el drenaje de agua en el cajón de entrada, donde se tiene un bajo porcentaje de concentración de sólidos, para continuar con la formación de la banda húmeda de papel, en esta sección aumenta la concentración de sólidos hasta un 20%, por medio de la extracción de agua a través de telas, a continuación, en la sección de prensado la hoja de papel con alto contenido de agua

atraviesa grandes rodillos los cuales la comprimen y expulsan una mayor cantidad de agua, al final de la sección de prensado, la concentración de sólidos se encuentra entre el 40-50%.

Enseguida pasa a la sección de secado donde se fija el grado de humedad final, se extrae otra cantidad de agua mediante la evaporación, utilizando rodillos calentados mediante vapor y flujos de aire caliente proveniente de la combustión directa de gas, al finalizar esta etapa el papel como tal ya ha sido fabricado quedando a disposición en forma de rollo gigante para continuar con algún proceso de acabado como según su destino, al final la humedad que presenta el papel ronda alrededor del 6%.

Finalmente tras agregar las características adicionales que requiere el papel según su destino se procede al corte y bobinado donde el papel es cortado y enrollado de acuerdo a las especificaciones del cliente [45][46].

Papel reciclado

Otra manera de obtener pasta es a través de residuos o de papel usado como materia prima, esta práctica ha presentado un crecimiento significativo en las últimas décadas debido a los grandes beneficios que ofrece, económicos y ambientales.

Las fábricas operan con papel reciclado, el cual es previamente clasificado según su tipo y uso previo, para obtener como producto semi terminado rollos de papel, los cuales serán alimentados a las máquinas de papel para obtener así el producto final. El proceso simplificado de obtención de pasta reciclada se puede describir mediante 10 subprocesos y 6 tanques.

El papel reciclado, se alimenta a un pulpeador donde es diluido para después pasar por distintas etapas de limpieza por medios mecánicos como ciclones y cribas que separan contaminantes como plásticos, metales, arenas por medio de rechazos.

Las tintas se retiran hasta en un 99% por medio de múltiples lavados y la adición de agentes químicos a través de lodos y espumas, el procedimiento se repite con diversos tanques hasta depurar por completo la pasta[46].

A pesar de ser la materia prima papel reciclado, se requiere también de fibra nueva para compensar el proceso ya que las fibras únicamente pueden reaprovecharse 7 veces aproximadamente, un 80% de la fibra reciclada puede recuperarse en el proceso de destinado.

En ocasiones se agregan colorantes para homogenizar el color del papel dependiendo el producto final, al reciclar las fibras en varias ocasiones se degradan siendo cada vez más cortas y débiles hasta ser desechadas en el proceso.

En el proceso de producción de papel y papel reciclado requiere de grandes cantidades de agua y energía, por una parte se dispone de procesos para el tratamiento y reutilización de agua, así como de sistemas para la recuperación de energía como procesos de cogeneración la cual se considera como una tecnología clave para ahorrar energía y reducir las emisiones de CO₂, la implementación de esta tecnología permite ahorros de hasta un 25%, o mediante la incineración de residuos sólidos, estima que la combustión de una tonelada de papel usado sustituye aproximadamente 600 litros de petróleo. La energía utilizada para la producción de una tonelada de papel se encuentra en un rango de 3-5 MWh, es posible recuperar hasta un 60% de la energía térmica y hasta un 90% de los agentes químicos utilizados en el proceso de producción TMP [46].

Comparación efectos de la producción de 1 ton de papel nuevo y reciclado

Materia prima	Papel de fibras nuevas	Papel fibras Recicladas	Variación %
Madera	2200 kg	0	100%
Arboles	24	0	100%
Papel usado	0	1100-1300 kg	80%
Químicos	230 kg	130 kg	43%
Energía	9600 kWh	6450 kWh	33%
Agua	30-100 m ³	10-20 m ³	70%
Desechos solidos	850 kg	530 kg	37%
GEI CO ₂ eq	1200-2500 kg	900- 1400 kg	34%
Partículas	4-5 kg	2.5-3 kg	38%

Tabla 9 Comparacion de papel reciclado y papel virgen elaboración propia con datos de Paperwork: Comparing Recycled to Virgin Paper [44]

Capítulo IV Metodología

En el presente capítulo se plantea el proceso de investigación, métodos y estrategias que se desarrollaron para lograr los objetivos planteados en el capítulo uno, se describe además el sujeto de estudio y las consideraciones asumidas para la culminación del proyecto.

Esta metodología esta enfatizada en determinar la situación actual mediante la revisión, selección y adaptación de metodologías para el proceso de auditorías energéticas en sistemas eléctricos, para de esta manera en detectar las zonas de mayor potencial de ahorro y al adaptarse a las características particulares por lo que será aplicable a otras líneas de producción, para de esta manera contribuir a la sustentabilidad en este sector.

La metodología consiste en conocer el proceso de producción de papel reciclado mediante el análisis de diagramas de proceso como herramienta base para el inventario de cargas, para esto es necesario además, analizar datos históricos, volúmenes de producción, consumo eléctrico así como programas e historiales de mantenimiento de los equipos que intervienen en el proceso.

A partir del análisis de datos históricos se determinaran algunas mediciones puntuales que aporten información valiosa para la evaluación.

Lo que no se mide no se puede controlar, lo que no se controla no se puede administrar y lo que no se administra no se puede mejorar. Y como bien mencionaba William Thomson Lord Kelvin (1824 – 1907). "Lo que no se mejora se degrada para siempre". Por lo que esta metodología parte del análisis histórico y estadístico para definir la situación actual, para de esta manera poder realizar mediciones y/o monitoreo adecuado y así generar indicadores que puedan caracterizar el uso de la energía eléctrica en el proceso típico de producción de papel reciclado de manera cuantitativa y cualitativa, para con esta información administrar y optimizar el uso de la energía eléctrica en el proceso productivo y finalmente evaluar y mejorar la eficiencia energética mediante técnicas para el ahorro y uso eficiente de la energía. Esta metodología se define en los siguientes puntos:

Revisión bibliográfica.

Consultar información referente a sistemas para el ahorro y uso eficiente la energía actual, así como normas nacionales e internacionales, reportes de resultados, bitácoras de operación, además de datos estadísticos de consumos energéticos de la industria del papel con el fin de obtener una referencia fundamentada y sólida.

Realizar visitas de reconocimiento a plantas de la industria del papel reciclado.

Con el fin de reconocer el equipo que opera para la producción de papel, condiciones de operación y demás detalles que podrían afectar la eficiencia de los equipos o del proceso, se realizarán visitas para documentar estas condiciones.

Realizar un esquema de los procesos asociados a la producción de papel.

Es necesario conocer completamente el proceso de producción de papel, desde la materia prima hasta el producto final terminado, para conocer la jerarquía de cada proceso y subproceso y poder tener una herramienta útil en la toma de decisiones para la elaboración del plan de ahorro y uso eficiente de la energía.

Elaboración de un inventario de cargas eléctricas.

Además del proceso de producción, es necesario conocer las cargas eléctricas que intervienen en el mismo así como sus horarios de operación para determinar las curvas de consumo y demanda y en general la operación de la línea de producción.

Elaboración de una estrategia para el diagnóstico energético.

Con los conocimientos obtenidos mediante la revisión bibliográfica, las técnicas de auditoria e ingeniería y la experiencia obtenida en campo, se podrá elaborar una estrategia para el diagnóstico energético.

Elaborar una lista de equipos y sistemas de baja eficiencia.

Con el fin de tener una base de datos que pueda apoyar en la toma de decisiones para el uso eficiente de la energía, se requiere conocer los sistemas y equipos que están operando con una eficiencia baja, para poder evaluar la factibilidad de ser reemplazado.

Determinar las áreas de mayor oportunidad de ahorro energético.

Mediante la auditoría energética se podrá llevar a cabo este punto con el procesamiento de datos y el uso de técnicas de ingeniería se podrá determinar las áreas críticas y de mayor potencial de ahorro.

Determinar acciones y medidas de ahorro

A partir de las características de operación, consumo y demanda se determinarán las acciones más eficientes para integrar la metodología de ahorro y uso eficiente de energía.

Evaluar el impacto de la implementación del sistema para el ahorro y uso eficiente de la energía expresado en términos energéticos, económicos y ambientales.

Evaluar los ahorros obtenidos de manera que puedan ser accesibles para todos, y dar un respaldo a la viabilidad de la implementación de esta metodología.

Elaborar documento para el desarrollo e integración de una auditoría energética.

Sujeto de estudio

El presente trabajo es un estudio de evaluación y mejoramiento de la eficiencia energética en el sector industrial siendo desarrollado específicamente dentro de una importante industria en la ciudad de Mexicali, dedicada a la elaboración de productos a partir del reciclaje de papel.

Esta empresa inició operaciones en el año de 1980 en la ciudad de Mexicali, Baja California, con la instalación de la primera máquina para la elaboración de papel tissue, con una capacidad de producción de 17,000 toneladas métricas al año, derivado de la calidad de sus productos y la importancia del papel en todos los sectores ha tenido un crecimiento

constante de manera que a la fecha cuenta con una capacidad de producción de aproximadamente 200,000 toneladas métricas al año.

Este estudio se realizó en una de las máquinas de papel de reciente adquisición, la cual se ubica dentro de la planta Mexicali compartiendo ubicación e infraestructura con una planta de molino, conversión y otras seis máquinas de papel.

El servicio eléctrico consiste en una potencia contratada de 29 MW con CFE, en la tarifa anteriormente denominada HM y cuenta además con una planta de cogeneración con una potencia de 22.5 MW, por lo que se tiene en proceso la asignación de CELs debido a cogeneración eficiente.

Materiales utilizados

Para recabar la información y llevar acabo la caracterización energética del sujeto de estudio se desarrollaron formatos de captura de información para motores eléctricos, los cuales constan de apartados para tomar valores de voltaje, corriente, eficiencia, factor de potencia tanto nominales como reales además de antigüedad, reparaciones, modelo, ubicación y función.

Este estudio se apoyó para la adquisición de los valores reales con el equipo de medición y control con el que cuenta la empresa tomando estos valores como válidos e irrefutables.

Se utilizó además para la toma de decisiones herramientas estadísticas como el diagrama de Pareto así como diseño de experimentos y gráficos de control.

Se utilizó además un equipo de fotografía para documentar y analizar posterior a las visitas de reconocimiento las condiciones y estado de los equipos y del entorno en general.

Para el procesamiento de la información, elaboración de formatos y redacción de documento se utilizó la paquetería de Microsoft office 2013 y un equipo de cómputo.

Procedimiento

Parte de esta investigación se realizó en las instalaciones de la empresa, con el objetivo de conocer los procedimientos en campo y recabar información valiosa sobre el estado de los equipos, características y funcionamiento en general para posterior a un análisis, determinar equipos, proceso o sistemas significativos en el consumo de energía eléctrica así como las áreas de oportunidad.

Los consultores externos suelen tener las habilidades para detectar los problemas internos de una empresa en base a información requerida, visitas y análisis, sin embargo la mejor manera de comenzar es mediante una entrevista general con el personal interno quien es el que conoce, maneja y domina las instalaciones, por lo que podría ahorrar bastante tiempo escuchar a la persona indicada ya sea para validar las causas de los problemas o descartarlos.

Dentro de la industria privada, ciertos procesos o información son confidenciales por lo que es necesario a priori entrar a la instalación, definir claramente la información requerida así como el tiempo estimado y operaciones que se requiera realizar dentro de la instalación, para obtener la autorización o analizar alternativas cuando el acceso sea restringido, por lo que algunos puntos claves para iniciar pláticas con la empresa son los siguientes.

1. Selección del sujeto de estudio y alcances.
2. Información requerida, disponible, aproximada o alternativas.
3. Establecimiento de los objetivos del estudio y el beneficio que se obtendrá.
4. Reconocimiento previo de la instalación guiado.
5. Definición y reconocimiento de la instrumentación de las instalaciones y equipos.
6. Información histórica de los puntos anteriores.

Selección del sujeto de estudio y alcances

En conjunto con la empresa, se seleccionó y delimitó el área que sería sujeto de estudio, en base a sus necesidades y requerimientos de esta tesis, por lo que se seleccionó

una sola maquina en particular ya que el resto de ellas tienen un comportamiento similar en cuanto a constitución y operación, por lo que los resultados obtenidos en ella serian válidos para las demás siendo esta de nueva adquisición teniendo solo unos meses de operación. Por lo que se requiere conocer y contar con información útil con la que se pudiera comparar con las demás y al ser nueva tecnología, trabajar en el acondicionamiento y mejora de las distintas máquinas para alcanzar los indicadores de la maquina nueva.

Información requerida

Se solicitó a la empresa información acerca de consumos eléctricos y demás factores importantes como los siguientes:

1. Acciones previas tomadas para un mejor uso de la energía.
2. Información histórica acerca de facturación eléctrica demanda contratada, consumo, costos, FP y recibo de CFE, de 12 meses anteriores al inicio del estudio.
3. Datos históricos de producción mensual por tipo de producto de una línea en un periodo de un año.
4. Diagramas de proceso actualizado con listado de equipo, número de unidades, proceso y/o área que atienden.
5. Diagrama unifilar de la instalación eléctrica.
6. Instrumentación eléctrica, puntos de medición
7. Características generales de operación horarios, días al año, temporadas altas, principales fallas.
8. Características eléctricas de los equipos que integran una línea de producción
9. Layout de la instalación.
10. Valor promedio del producto semiterminado.
11. Historial y plan de mantenimiento de los equipos.
12. Historial de eventos especiales que modificaron las condiciones normales de operación.

Establecimiento de los objetivos del estudio y el beneficio que se obtendrá

En el caso particular de la máquina que se analizó, al ser nueva, se requiere información que valide la operación eficiente de la misma por lo que el resultado de la investigación llevada a cabo podría utilizarse en esta validación.

En resumen los objetivos planteados son:

1. Identificar los sistemas energéticos y equipos de mayor impacto en el consumo y demanda de energía eléctrica.
2. Desarrollar una guía de captura sistemática de información
3. Caracterizar el proceso de fabricación de papel energéticamente.
4. Determinar las áreas de mayor potencial de ahorro
5. Establecer listado de acciones y medidas de ahorro y uso eficiente.
6. Evaluar el impacto económico, energético y al medio ambiente que tiene la implementación de una metodología para el ahorro y uso eficiente de la energía.

Por medio del cumplimiento de los objetivos planteados, la empresa contara con información adecuada y confiable por lo que será capaz de aplicar la metodología en cada una de sus máquinas para establecer niveles de eficiencia óptimos y trabajar en la mejora de sus procesos, convirtiéndose así en una empresa sustentable donde el siguiente paso será la certificación en ISO 5000.

Reconocimiento previo de la instalación guiado.

Se solicitó además de la información, un recorrido guiado por personal de la empresa con conocimiento en cuanto a la operación así como en las instalaciones para poder contar con un marco de referencia general de las operaciones realizadas para operar la máquina.

Se solicitó además información sobre los principales problemas que se presentan en la maquinaria que provocan paros y por ende arranques de equipo con mayor frecuencia.

Definición y reconocimiento de la instrumentación de las instalaciones y equipos

Para llevar a cabo la investigación y desarrollo de la metodología, así como la generación de información para la toma de decisiones y la propia evaluación de las instalaciones es necesario contar con valores reales y confiables por lo que se requiere contar con mediciones puntuales, tal como se especifica en la sección de auditorías energéticas, correspondiente a una auditoría energética de segundo nivel.

En el caso particular de esta máquina al ser de reciente adquisición, las mediciones y controles se consideran como válidos para realizar los cálculos y estimaciones debido a que al ser nuevos, cumplen con la normatividad que rigen a cada uno de ellos.

La máquina cuenta con instrumentación para medir parámetros eléctricos, mecánicos, temperatura, humedad y flujo de aire dentro del proceso, y esto se validan frecuentemente para evaluar el comportamiento de los mismos.

Información histórica de los puntos anteriores

En el caso peculiar de esta máquina, no se cuenta con información histórica ya que tiene un periodo de operación de 3 meses, sin embargo se analizó la situación actual y se comparó con los datos nominales para obtener información acerca de la eficiencia de la maquina en conjunto compuesta por diversos dispositivos y motores

Desarrollo

Una vez definidos los puntos anteriores, se procedió con el desarrollo y aplicación de la metodología planteada anteriormente resultando de esta los siguientes puntos.

Para el desarrollo del estudio se consideraron las siguientes actividades:

1. Visita de reconocimiento
2. Desarrollo de formatos y sistemas para la captura.
3. Obtener datos históricos del consumo de energía así como del volumen de producción y mantenimiento de los equipos que integran la línea.
4. Realizar un inventario de cargas eléctricas.
5. Determinar equipos y/o causas significativas de deficiencias.
6. Propuesta de acciones y evaluación de las mismas.

Visita de reconocimiento de la instalación y condiciones de operación

Previo a la visita de reconocimiento se llevaron a cabo pláticas con la empresa para plantear el proyecto y requerimientos necesarios para desarrollarlo, por lo que se asignó a un elemento integrante de la empresa con conocimiento en el proceso de producción de papel reciclado y las instalaciones, considerando la empresa que este pudiera resolver cualquier cuestión que surgiera durante el proyecto.

Se realizó una corta entrevista para cuestionar acerca de acciones previas llevadas a cabo para hacer un uso más eficiente de la energía sin embargo, a pesar de los casi 38 años de operación de la empresa, no hay registro de alguna metodología aplicada para el ahorro y uso eficiente de la energía, dato que no es sorprendente ya que la mayoría de las empresas carece de metodologías para este fin.

No hay registro de algún estudio de calidad de la energía, ni medición general de parámetros eléctricos de las líneas de alimentación.

No se cuenta con un sistema automático o manual de administración o control de la demanda.

No se cuenta con variadores de frecuencia.

Se solicitó al representante de la empresa en base a su experiencia en el proceso haga del conocimiento al equipo de este proyecto sus impresiones o teorías acerca del uso de la energía, principales cargas y principales deficiencias en el uso y manejo de la electricidad, para validarlo o descartarlo con las herramientas adecuadas para esto.

Durante la visita guiada se apreció inmediatamente que toda la instalación al igual que la maquina son nuevos, el equipo humano que opera la maquina es reducido en número, y prácticamente no se requiere la mano del hombre en el proceso directo de fabricación de papel.

La empresa tiene un horario de operación continuo, de 24 horas 7 días a la semana, la máquina de papel solo se detiene por 12 horas aproximadamente cada 35 días, para realizar el mantenimiento oportuno, que básicamente consiste en el cambio de vestiduras, se cuenta con un monitoreo en tiempo real de valores como factor de carga y corriente de los equipos denominados como drives, que son los equipos encargados de mover las vestiduras y se cuenta además con un sofisticado control eléctrico para cada uno de los equipos que integran la máquina.

Cabe señalar que la maquina objeto de este análisis, cuenta con tecnología nueva, se alimenta de energía eléctrica, gas y vapor, sin embargo este análisis se enfoca en la detección de oportunidades de ahorro en equipos y procesos por lo que se espera a pesar de contar con nueva tecnología, aportar en el ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica.

En cuanto a las instalaciones, al igual que la maquina son nuevas, no existe historial de mantenimiento, por lo que no se considera que existan variaciones en valores como eficiencia, se cuenta además del equipo de producción, climatización para el área de oficinas así como iluminación 24 horas en el área de máquinas.

El servicio de energía eléctrica se deriva de una nave adjunta, por lo que los valores de consumos que se tienen son estimados en la mayoría de los casos, el factor de potencia se controla por medio de la generación de potencia reactiva por parte de cogeneración además de contar con tres bancos de capacitores de 100 kVAr.

La máquina la cual es objeto de este estudio representa aproximadamente el 13.7% del consumo total de la fábrica y se utiliza para fabricar 3 tipos de papel, servilleta 11.5, higiénico 8.2, e higiénico 9.1 esto se refiere al peso base de cada producto.

Desarrollo de formatos y sistemas para la captura y procesamiento de la información

Se desarrollaron formatos de captura, en base a la información requerida por tipo de dispositivo o sistema que se fuera a analizar, para ordenar los datos obtenidos tanto en campo como proporcionados por la empresa y facilitar así su procesamiento.

Gestión de documentación

En cuanto a la información requerida se procedió a recopilar la información referente a condiciones de operación y consumos directamente de las pantallas de control, datos de placa y bitácoras diarias de operación, obteniendo así un concentrado de información, además se solicitaron historiales de producción, consumo de gas, vapor y electricidad del tiempo que tiene en operación la máquina que es de aproximadamente 3 meses.

Inventario de cargas eléctricas

Basado en los recorridos de inspección así como en la documentación proporcionada por la empresa, la obtenida directamente en campo y pantallas de control, se procedió a hacer un concentrado de información acerca de los dispositivos que componen la máquina de papel, indicando sus características eléctricas así como de operación incluyendo datos reales y nominales.

Determinar equipos y/o causas significativas de deficiencias.

Basado en los puntos anteriores, se procedió al análisis de la información cuantitativa y cualitativa de las características nominales y reales de los dispositivos que integran la máquina, mediante técnicas estadísticas y diseño de experimentos para así determinar los dispositivos estadísticamente más significativos en el consumo de energía y enfocarnos a buscar soluciones y sobre todo las causas raíz.

Propuesta de acciones y evaluación de las mismas.

Las acciones recomendadas para alcanzar la eficiencia energética son muy diversa ya que se enfoca a solucionar las causas que provocan las deficiencias y estas pueden provenir de distintos factores tanto internos como externos, es por esto que la metodología debe ser adaptada a las condiciones de cada lugar, sistema o proceso, lo que si se comparte es la evaluación económica de las mismas donde por ser inversiones a largo plazo se requiere tomar en cuenta el valor del dinero en el tiempo, inflación y vida del proyecto.

Capítulo V Resultados, Recomendaciones y conclusiones

Resultados

Como resultado de las actividades realizadas anteriormente descritas se obtuvo la siguiente información.

La primera impresión sobre las instalaciones fue que en efecto pudiera darse el caso de que los niveles de eficiencia estuvieran en los valores óptimos, debido a que tanto la instalación como el equipo es nuevo y de alta eficiencia en la mayoría de sus componentes, por lo que en el mejor de los casos la hipótesis debería ser refutada, con esta información de inmediato pudieron descartarse algunos puntos a verificar como los historiales de mantenimiento de los equipos ya que estos no se han realizado.

Derivado de la primera entrevista que se tuvo con la empresa se pudieron detectar algunos puntos importantes los cuales abrieron el panorama en lo general del estado de las instalaciones y los equipos en cuanto a eficiencia energética.

La empresa a pesar de mostrar interés sobre el tema de eficiencia energética, no cuenta con un plan o metodología para hacer un uso eficiente de la energía y en los años que tiene de operación, no se han llevado a cabo acciones para mejorar este indicador.

No se cuenta con algún estudio de la calidad de la energía, por lo que de la misma manera no existen acciones para mejorarla o controlarla.

No existen acciones para el control de la demanda, por lo que esta se comporta de manera directa en respuesta a las acciones que se toman sobre el sistema eléctrico.

El control del factor de potencia se da principalmente por parte de cogeneración, al “generar potencia reactiva” y se cuenta además con tres bancos de capacitores de 100Kvar.

Se cuenta con el equipo adecuado para aportar información acerca del estado y operación de los principales equipos, sin embargo esta se usa principalmente para analizar cuestiones económicas.

Al concluir la entrevista con personal encargado del proceso, mantenimiento y operación se pudo concluir con que a pesar de conocer el tema, no es prioridad, por lo que no se llevan a cabo acciones para mejorar el consumo de energía, ni se tienen previstas para un futuro cercano.

Se ubicaron 99 motores eléctricos los cuales constituyen la máquina de papel y los servicios que esta requiere para su operación de los cuales 75 se consideran que operan de manera continua.

Estos motores son de una potencia desde 1 HP hasta 700 HP más un motor de 1600 HP.

Se calculó una potencia instalada de 9500 HP de los cuales 7500 HP se consideran como activos y continuos.

Se realizó una clasificación de motores por tamaño de potencia nominal, ya que al ser todos de operación continua, este factor es determinante para cálculo de consumo y demanda.

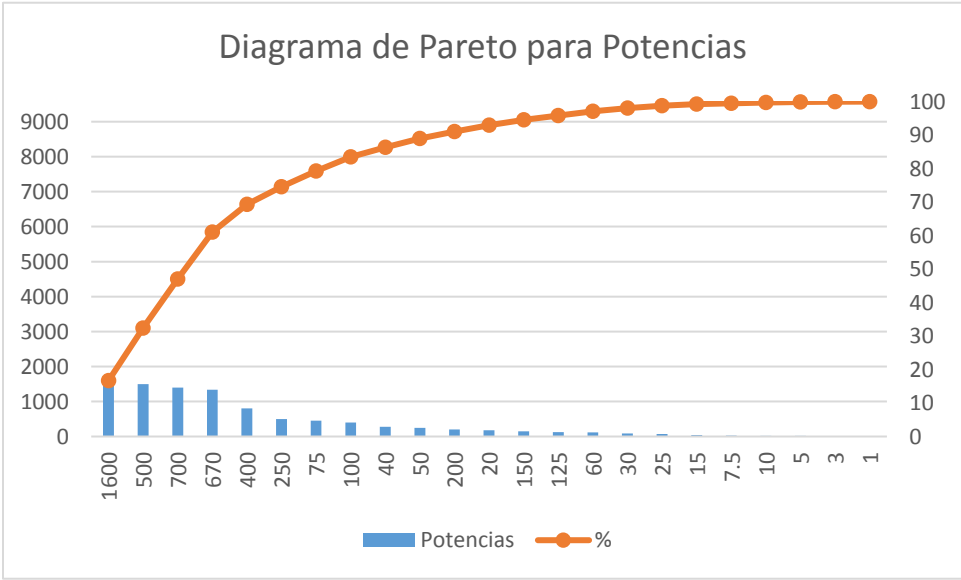


Figura 2 Diagrama de Pareto de tamaño motores por potencia instalada.

Tal como lo establece el principio de Pareto, causas pequeñas, las cuales típicamente se considera el 20% causan el 80% de los problemas.

A partir de este análisis podemos decir que, si se analizan solo los motores de 500 HP se estaría contemplando el 18% del total, agregando los de 700 asciende al 36%, con los de 670HP es el 53% y agregando los de 400HP se estaría contemplando el 63% del total de la potencia instalada.

De esta manera se acoto el estudio por lo que de los 99 motores que representan el 100%, se seleccionaron 10 con potencia de 400 a 1600HP y representan el 69% de la carga, mas 3 motores los cuales forman parte activa e intervienen directamente en el proceso siendo un total de 13 motores y el 75% de la carga.

Estos motores se describen a continuación.

NOMBRE	I	VOLTS	HP	RPM	EFF NOM	MARCA	MODELO
BOMBA FAN	358	2300	1600	1400	95	G.E.	5KAF83111096305
REFINADOR	189	2300	700	900	95	TECO	FD178006T1
VENTILADOR VAC	1000	480	670	9500	96	THE SWITCH	SRM0355F0200540
FORMADOR	527	480	500	1844	96.5	G.E.	5KAF513SA6220A
YANKEE 1	527	480	500	1844	96.5	G.E.	5KAF513SA6220A
YANKEE 2	527	480	500	1844	96.5	G.E.	5KAF513SA6220A
V P E.H	429	480	400	1875	96.5	G.E.	5KAF511SAG225
V P E.S	429	480	400	1875	96.5	G.E.	5KAF511SAG225
R FIELTRO	284	480	250	1195	96.2	G.E.	5KAF509SAG3209
ENROLLADOR	98	480	75	1790	95.4	G.E.	5KAF405SAA249
EXTRACTOR CAP	98	480	75	1790	95.4	G.E.	5KAF405SAA249
V C E.H	98	480	75	1790	95.4	G.E.	5KAF405SAA249
V C E.S	98	480	75	1790	95.4	G.E.	5KAF405SAA249

Tabla 10 Descripción de motores seleccionados.

La mayoría de dichos motores pertenecen a la gama de motores de alta eficiencia nema Premium, de igual manera, la mayoría de estos motores son monitoreados en tiempo real por el sistema de operación y control eléctrico, por lo que se tomó nota de los valores registrados para cada motor en operación directamente de las pantallas de control.

Cabe señalar que la maquina está diseñada para operar a una velocidad de 2000 MPM, sin embargo al tomar las lecturas esta operaba a una velocidad de 1800 es decir al 90% de su capacidad nominal. Esta velocidad es un valor que se puede considerar constante a través

del tiempo, ya que actualmente algunos problemas referente a protecciones eléctricas, les impide operar al 100%.

Algunos de los valores de interés para el estudio que muestra el sistema de control y operación son:

1. Velocidad del proceso
2. Diagrama de operación
3. Diagrama de instalación
4. Velocidad de rodillos en MPM
5. Velocidad de motores en RPM
6. Carga en %
7. Corriente en Amperes.

Por lo que al hacer el levantamiento de datos del sistema pudimos complementar la siguiente tabla.

NOMBRE	I NOM	I REAL	VOLTS	HP	FC%	RPM R
BOMBA FAN	358	193	2300	1600	45	1077
REFINADOR	189	142	2300	700	75	710
VENTILADOR DE VAC	1000	824	480	670	82	7220
FORMADOR	527	298	480	500	56	1100
YANKEE 1	527	303	480	500	56	1050
YANKEE 2	527	303	480	500	57	1050
V P E.H	429	204	480	400	37	1296
V P E.S	429	250	480	400	50	1296
R FIELTRO	284	168	480	250	57	710
ENROLLADOR	98.1	57	480	75	43	710
EXTRACTOR CAP	98.1	51	480	75	25	1193
V CON E.H	98.1	59	480	75	38	1300
V COM E.S	98.1	59	480	75	38	1340

Tabla 11 Datos de motores recolectados.

En base a la información obtenida se realizaron los siguientes cálculos y estimaciones.

NOMBRE	I NOM	I REAL	%I	VOLTS	HP	KW	FC%	RPM	EFF NOM	CONSUMO ESTIMADO KWh	FP ESTIMADO
BOMBA FAN	358	193	53.91	2300	1600	1209.6	45	1400	95	13751.242	0.75
REFINADOR	189	142	75.13	2300	700	529.2	75	900	95	10044.632	0.74
V VAC	1000	824	82.40	480	670	506.52	82	9500	96	10383.660	0.63
FORMADOR	527	298	56.55	480	500	378	56	1844	96.5	5264.580	0.89
YANKEE 1	527	303	57.50	480	500	378	56	1844	96.5	5264.580	0.87
YANKEE 2	527	303	57.50	480	500	378	57	1844	96.5	5358.591	0.89
V P E.H	429	204	47.55	480	400	302.4	37	1875	96.5	2782.707	0.68
V P E.S	429	250	58.28	480	400	302.4	50	1875	96.5	3760.415	0.75
R FIELTRO	284	168	59.15	480	250	189	57	1195	96.2	2687.651	0.80
ENRROLLADOR	98.1	57	58.10	480	75	56.7	43	1790	95.4	613.358	0.54
EXTRACTOR CAP	98.1	51	51.99	480	75	56.7	25	1790	95.4	356.604	0.35
V COMB E.H	98.1	59	60.14	480	75	56.7	38	1790	95.4	542.038	0.46
V COMB E.S	98.1	59	60.14	480	75	56.7	38	1790	95.4	542.038	0.46
TOTALES			59.9		5820	4400	50.70		95.87	61352.09	0.68

Tabla 12 Cálculos basados en datos nominales y reales.

En la tabla 12 podemos observar el concentrado de información obtenida a través de los datos proporcionados por la empresa y los recolectados en campo de la cual se pueden obtener algunas conclusiones.

A la vista resalta el dato referente al factor de carga, el cual varía del 38% hasta el 82% sin embargo el promedio se encuentra cerca del 50.7 %, esto pudiera tener múltiples causas, de las cuales muchas se descartan en este caso particular ya que tanto el quipo como la instalación es nueva y la maquina se encuentra operando al 90% de su carga nominal.

En general podemos denominar esta situación como un proyecto sobredimensionado, por lo que se procedió a analizar algunos otros factores.

A pesar de que la relación entre el factor de carga y la corriente demandada no es directamente proporcional, si presentan una interacción que puede considerarse constante, partiendo de esta afirmación, y al comparar el factor de carga con el porcentaje de demanda de corriente podemos observar una discrepancia de aproximadamente un 10%, lo que indica que a pesar de requerir solo el 50% de su potencia, demanda aproximadamente el 60% de la corriente nominal.

Como se planteó en el marco teórico de esta tesis, la corriente demandada tiene relación directa con el factor de potencia, al calcular este con los datos reales de operación fue evidente el problema que el factor de carga está causando.

Una subutilización de la potencia nominal de un motor eléctrico, genera ineficiencias en el uso de la energía eléctrica ya que a pesar de entregar una carga menor de trabajo, la potencia inductiva se mantiene para generar una potencia de giro entre el estator y el rotor, esto genera una reducción directa en el factor de potencia, lo que incrementaría la demanda de corriente eléctrica, además de que, al no operar a las condiciones nominales, tampoco se opera en el punto de mejor eficiencia.

En la figura 3 podemos observar curvas de desempeño características para motores eléctricos asíncronos, en ella es posible identificar que a partir de un factor de carga del 55%, la eficiencia del motor decrece de manera exponencial, que el factor de potencia decrece hasta un 25%, el deslizamiento se reduce conforme aumenta el factor de carga y la corriente no se reduce proporcionalmente con el factor de carga

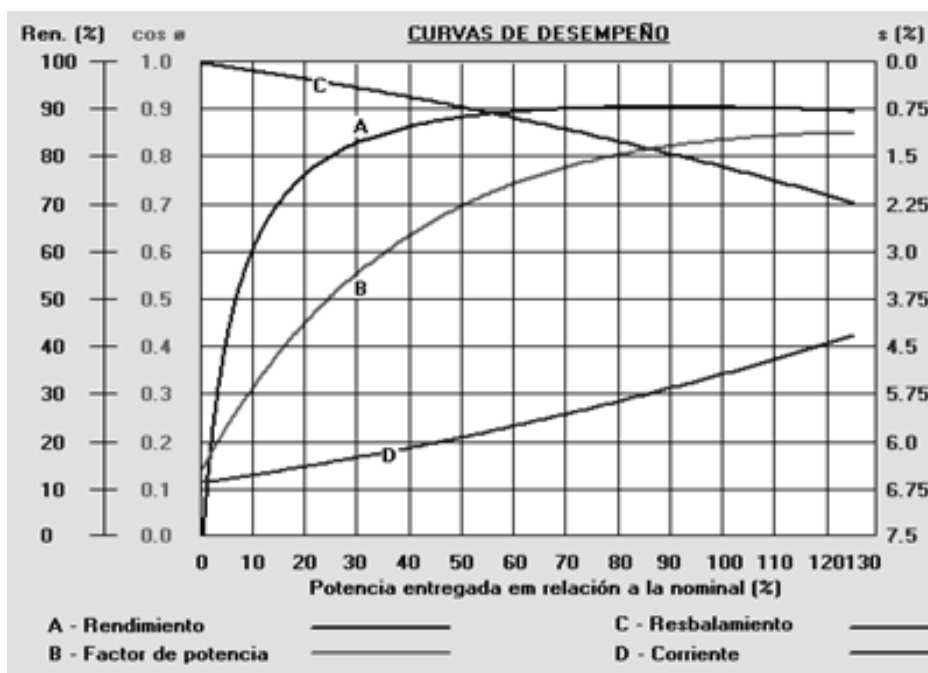


Figura 3 Curvas de desempeño características para motores eléctricos asíncronos

Fuente: Dr. Percy Rafael Viego Felipe Induction motor power factor and efficiency IN-SITU determination under partial loads 2014 [47].

Por lo que los problemas y consecuencias observadas se pueden enlistar en:

1. Bajo factor de carga
2. Bajo factor de potencia
3. Incremento de la corriente de operación
4. Aumento de temperatura en los conductores
5. Aumento en la facturación eléctrica
6. Reducción de la vida útil del dispositivo eléctrico
7. Reducción del tiempo de vida de la instalación eléctrica

Se obtuvo previamente un estimado por parte de la empresa sobre los consumos de energía eléctrica diarios así como producción, con lo que pudieron calcularse algunos indicadores referentes al estado actual, siendo uno de los más representativos que actualmente se requiere de aproximadamente 1.2 MWh para producir 1 tonelada de papel.

Días	Producción Generador KWH 34.5 KV	Consumo total de Planta	Consumo estimado de MP	Producción		Indicador	
				Rollos	Kg	kWh/rollo	kWh/kg
1	539203	684818	92450	49	83807	1886.74	1.1
2	545246	720030	97204	38	66376	2558.00	1.5
3	533045	715779	96630	40	69756	2415.75	1.4
4	538507	714087	96402	41	72329	2351.26	1.3
5	543619	699524	94436	45	78866	2098.57	1.2
6	539093	675971	91256	53	79670	1721.81	1.1
7	539916	684572	92417	52	80269	1777.25	1.2
8	519982	637271	86032	30	53729	2867.72	1.6
9	538789	722373	97520	49	88457.5	1990.21	1.1
10	534720	719831	97177	47	85493.5	2067.60	1.1
11	530951	703886	95025	44	75514	2159.65	1.3
12	537023	719160	97087	35	60084	2773.90	1.6
13	545445	717245	96828	44	76664	2200.64	1.3
14	540478	715482	96590	40	66401	2414.75	1.5
15	541818	730514	98619	45	81111	2191.54	1.2
16	537191	712275	96157	43	74689	2236.21	1.3
17	543523	693104	93569	45	77957	2079.31	1.2
18	539619	683319	92248	49	82256	1882.61	1.1
19	532943	721116	97351	47	81730	2071.29	1.2
20	537516	647517	87415	55	91915.5	1589.36	1.0
21	548003	650789	87857	54	94262	1626.97	0.9
22	543236	613629	82840	50	86684.5	1656.80	1.0
23	530224	623018	84107	15	25485	5607.16	3.3
24	540617	700546	94574	52	89564	1818.73	1.1
25	540774	702725	94868	48	86642.5	1976.41	1.1
26	538648	693882	93674	57	91698.5	1643.40	1.0
27	411242	518886	70050	41	68771	1708.53	1.0
28	537225	685842	92589	45	74800	2057.53	1.2
Promedio	14948596	19207191	92606	1253	76606	2193.92	1.28

Tabla 13 tabla de indicadores energéticos por día.

Al realizar un comparativo de la situación actual y los consumos estimados en condiciones de operación óptimas fue posible detectar lo siguiente.

Consumo estimado motores significativos kWh/día	Consumo estimado total 100% motores kWh/día	Consumo real kWh/día	Variación %
61352	79758	92606	-13.9%

Tabla 14 Comparativo de valores óptimos y valores reales.

Por medio de esta comparación se puede confirmar la hipótesis planteada sobre la probabilidad de encontrar un estado de operación con deficiencias detectables mediante una auditoría energética.

Cabe señalar que esta es una de 7 naves que componen la sección de máquinas de papel, al ser la más reciente y estar compuesta por equipo de reciente adquisición se plantea el escenario donde al aplicar la misma metodología en las demás máquinas se obtendría una variación mayor respecto a los valores óptimos y los reales.

De ser al menos del mismo valor el potencial de ahorro posible en las demás máquinas, el ahorro estimado total de las máquinas de papel sería de aproximadamente 84 MWh por día traducido a 56 toneladas de CO₂ equivalente, con lo que se obtiene un ahorro mensual de 2 GWh lo que representa casi el 10% del consumo total mensual de la planta y 1300 ton Co₂ eq.

Con este ahorro se obtendría un indicador que pasa de 1.2 MWh/Ton a 1.041 MWh/Ton.

Es importante mencionar, el simple accionamiento de un motor de inducción provoca un efecto reductor en el factor de potencia, el control del factor de potencia por medio de la generación de potencia reactiva es una manera ineficiente de resolver el problema ya que el bajo factor de potencia es una consecuencia y no una causa.

Frecuentemente se instalan bancos de capacitores, tanto fijos como automáticos para corregir el factor de potencia, sin embargo, instalar un banco de capacitores aumenta la

inversión, así como el costo de operación y mantenimiento de una instalación, por lo que es recomendable analizar la causa del problema.

Para el problema de bajo factor de potencia debido a un bajo factor de carga, lo ideal es prevenir el problema inicial que es un sobredimensionamiento ya que corregirlo después representa un incremento significativo de la inversión a corto y largo plazo.

Corrección del factor de potencia

Se calculó un factor de potencia de 0.74, en la tabla factor k de la sección de corrección de factor de potencia podemos observar que el factor K para pasar de un factor de 0.74 a 0.95 es de 0.580 por lo que se procede a hacer el cálculo correspondiente.

FP sin corrección 0.74

FP deseado 0.95

Potencia aparente 2650 KVA

Factor k= 0.580

$$\cos\theta = \frac{P \text{ Activa}}{P \text{ aparente}}$$

$$P \text{ Activa} = \cos\theta * P \text{ aparente}$$

$$P \text{ Activa} = \cos(74) * 2654 \text{ kVA}$$

$$P \text{ Activa} \approx 750 \text{ KW}$$

$$P \text{ Reactiva} = 750 \text{ kW} * \text{Factor K}$$

$$P \text{ Reactiva} = 750 \text{ KW} * 0.580$$

$$P \text{ Reactiva} \approx 435 \text{ kVAr}$$

Corregir el factor de potencia requiere una inversión adicional, prevenir el factor de potencia evita costos adicionales y reduce la inversión inicial.

En la tabla 15 podemos observar el efecto de operar los equipos en sus condiciones nominales.

	Consumo estimado de MP	Producción		Indicador	
	kWh	Rollos	Kg	kWh/rollo	kWh/kg
	92606	45	77000	2057.91	1.20
	79758	45	77000	1772.6	1.041
Reducción diaria	19454	0	0	285.31	0.159

Tabla 15 Comparación de indicadores con caso real vs caso óptimo.

Análisis Económico

Se realizó una estimación de los costos asociados al servicio eléctrico para determinar el potencial de ahorro económico al operar los equipos en condiciones nominales y con un factor de potencia de 0.9 el cual evitaría penalizaciones contra el caso real.

Cabe señalar que para realizar una estimación del costo asociado a la energía eléctrica se tomaron algunas consideraciones.

A pesar de contar con una planta de cogeneración, se realizó el cálculo económico simulando que toda la energía proviene de CFE ya que los datos económicos dentro de la empresa son restringidos esto incluye costos de generación, por otra parte los datos tarifarios de Comisión Federal de electricidad son públicos.

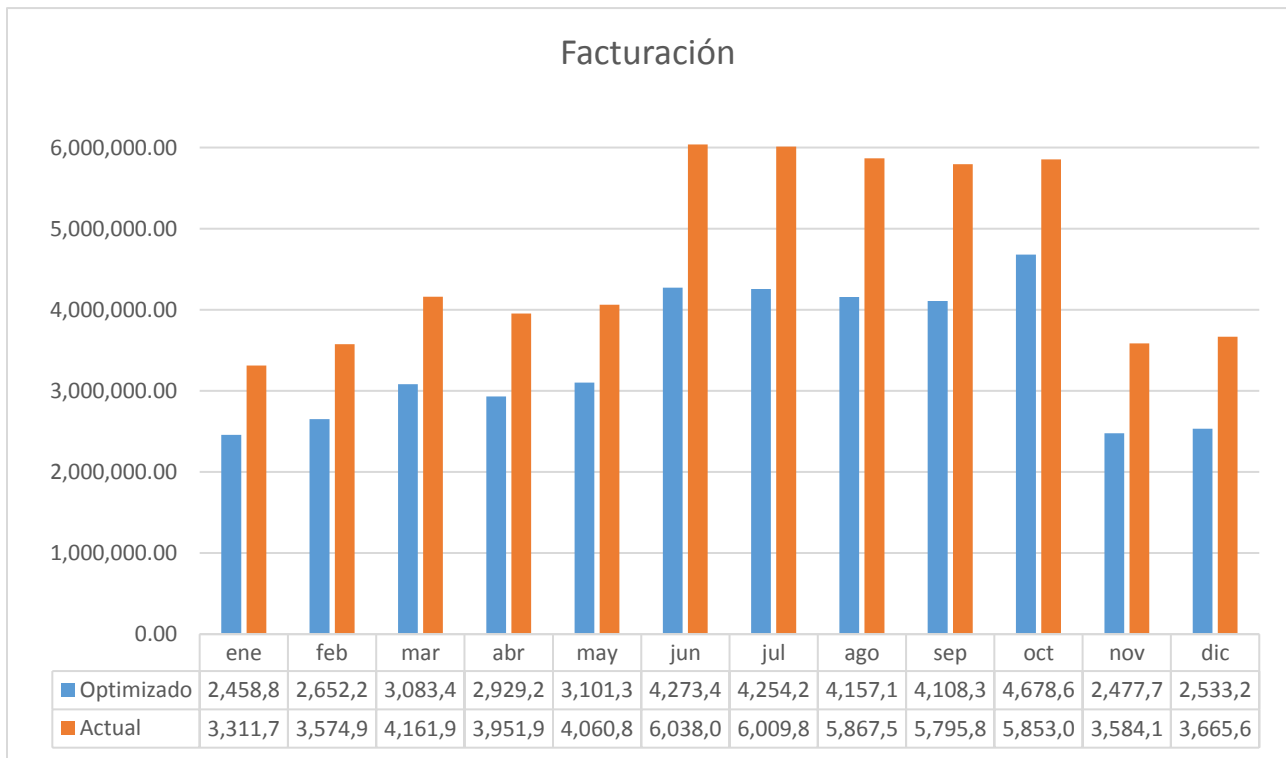
Los datos proporcionados por la empresa de igual manera son estimados sin embargo se realizó una simulación para determinar costos asociados a la energía con los datos tomados en campo y condiciones de operación con lo que se pudo validar que las aproximaciones

que se realizan dentro de la empresa para determinar tanto costos y consumos es aceptable.

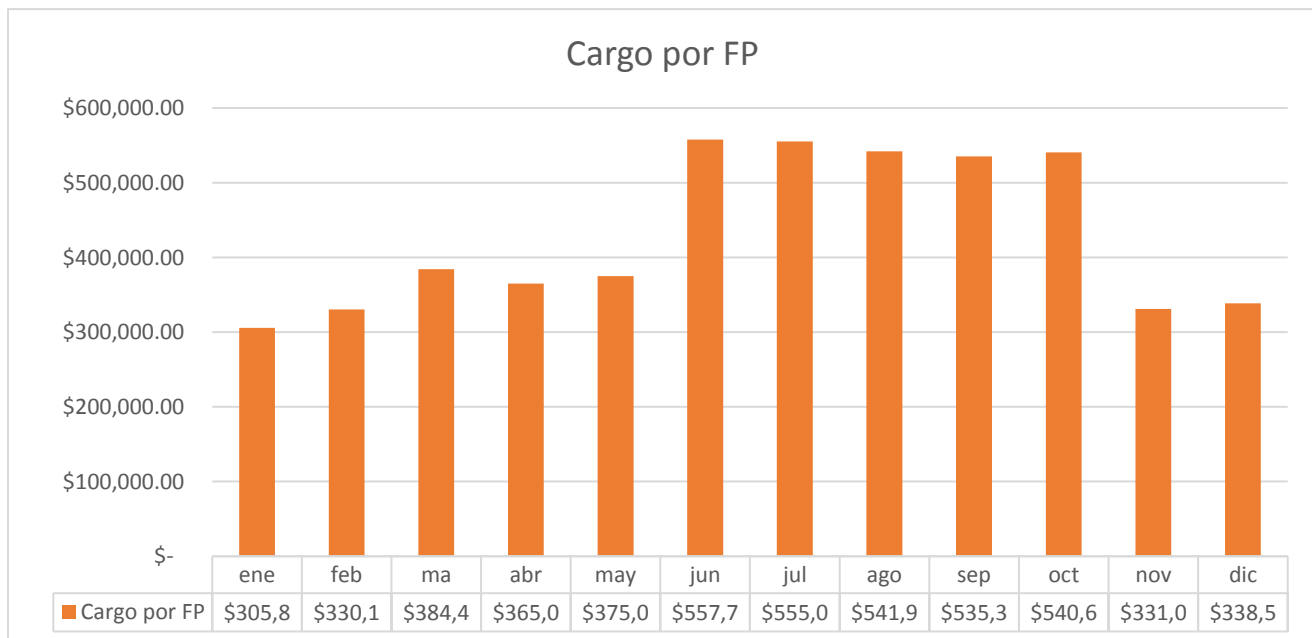
Para llevar a cabo esta simulación se utilizó una hoja de cálculo desarrollada por el Dr. Héctor Enrique Campbell en el programa Excel, la cual a partir de ingresar una serie de datos de consumo calcula la facturación final tomando en cuenta distintas variables que modifican el resultado final además de contar con factores de ajuste para una estimación más precisa.

Es necesario mencionar, en 2018 el sistema tarifario de Comisión Federal de Electricidad tuvo una reestructuración importante por lo que se modificaron las tarifas y conceptos, sin embargo para fines comparativos, se conservó el análisis con el sistema tarifario vigente hasta 2018.

La tarifa HM de la cual es usuaria la empresa paso a ser la tarifa Gran Demanda en Media Tensión Horaria GDMTH. Conservando una estructura similar pero con cambios en conceptos de cobro por lo que para realizar proyecciones a futuro será necesario utilizar el nuevo esquema tarifario.



Grafica 1 “Estimación de la facturación eléctrica en el periodo de un año” elaboración propia con datos estimados



Grafica2 “Costos debido a bajo factor de potencia” Elaboración propia

Las condiciones de operación actuales además de afectar al medio ambiente indirectamente, afecta también la economía de la empresa, como se puede observar gráficamente, a pesar de considerar un consumo prácticamente constante debido a la operación continua de los dispositivos bajo el mismo proceso y no tener arranques frecuentes, la facturación final se ve afectada por distintas variables.

La tarifa contempla costos por consumo, demanda, y factor de potencia principalmente, al ser de tipo horaria, los costos se modifican según el horario de consumo, por lo que mes con mes podemos observar variaciones considerables, que dependen además del consumo real de los hábitos de consumo que se tengan.

De esta manera, al comparar la facturación real con la óptima podemos observar un potencial de ahorro desde 800,000 a poco más de 1,000,000 de pesos mensuales obteniendo así un ahorro anual calculado en unos 10 millones de pesos, aplicando las medidas recomendadas en cuanto a corregir el factor de potencia y operar el equipo en sus condiciones nominales para así mismo operar en el punto de mayor eficiencia.

La inversión estimada para corregir el factor de potencia es de aproximadamente 900 mil pesos los cuales según indica la gráfica 2 se requieren de 2 a 3 meses para recuperar la inversión, lo cual hace técnica y económicamente factible esta solución.

Se estima que en la inversión inicial pudo haberse ahorrado hasta un 20% en cuanto a la compra de equipo de una potencia más adecuada para la carga para la que estaría operando más el ahorro por la operación en el punto de mejor eficiencia.

Recomendaciones

Tras finalizar el diagnóstico energético llevado a cabo en una sección de una fábrica de papel e identificar áreas de oportunidad, las cuales se analizaron y se estimó el potencial de ahorro que traerían consigo, existen otras medidas las cuales optimizarían y ayudarían a mantener los equipos en una óptima operación y permitiría además detectar problemas que pudieran causar futuras fallas o ineficiencias, derivado de lo anterior se realizan las siguientes recomendaciones.

1. Crear un comité con integrantes de distintos departamentos capaces de tomar decisiones para un mejor uso de la energía.
2. Aplicar esta metodología en las demás instalaciones de máquinas de papel que integran la planta.
3. Instalar contadores de energía individuales con tarjeta de memoria para tener conocimiento real de los consumos individuales.
4. Llevar a cabo un análisis técnico y económico sobre la instalación de equipos variadores de frecuencia para los motores mayores de 400 HP y ventiladores principalmente.
5. Realizar un estudio de calidad de la energía eléctrica.
6. Implementar un sistema de control de la demanda.
7. Enfocar las acciones sobre eficiencia energética hacia un sistema de gestión energética.
8. Capacitar al personal sobre tópicos de eficiencia energética.
9. Establecer metas a corto y largo plazo.
10. Revisar a detalle la planeación e ingeniería de futuras instalaciones.

Conclusiones

Tras haber llevado a cabo un diagnóstico energético en un sistema industrial que produce productos a partir de papel reciclado, haber analizado el contexto general y el estado del arte referente a medio ambiente, política y normas energéticas y haber realizado un análisis general de las instalaciones, de los datos obtenidos mediante las entrevistas con el personal de distintos departamentos de la empresa, así como recolectados de en campo y en los sistemas de control, se establecen las siguientes conclusiones.

El tema de eficiencia energética no es nuevo, sin embargo, los efectos medioambientales, políticos y económicos se han incrementado en los últimos tiempos, haciendo impostergable empezar a tomar acciones que contenga y/o reduzcan la contaminación y crisis económica.

A pesar de que instituciones internacionales y los gobiernos han trabajado en el desarrollo de políticas energéticas como medida para controlar la emisión de contaminantes, falta mayor compromiso, legislación y sanciones.

En Baja California existen distintos tipos de tecnologías para la generación de energía eléctrica y se han modificado para introducir combustibles menos contaminantes como gas natural, sin embargo la responsabilidad no es solo del gobierno y las plantas de generación sino de los usuarios finales en conjunto con las instituciones.

Actualmente existen normas de eficiencia energética pero se adolece de la verificación de su aplicación y de sanciones para que incumpla las normas.

La reforma energética ha traído consigo cambios estructurales que han modificado patrones en cuanto al manejo del recurso energético, buscando dar cumplimiento a los acuerdos internacionales sobre emisión de contaminantes y energías limpias, a pesar de haberse aprobado en 2014 no han podido implementarse plenamente.

El tema de eficiencia energética debe ser de interés de todos, de los gobiernos proveer seguridad energética a la nación, la industria al mejorar su imagen y funcionamiento y a la sociedad, la cual es víctima de la contaminación del medio ambiente y del incremento en los precios.

Es necesario realizar campañas de concientización en cuanto al uso eficiente de la energía con un enfoque de responsabilidad social y medio ambiental no solo económico.

Es necesario conformar equipos internos con la responsabilidad del establecimiento de políticas en cuanto a eficiencia energética.

Es necesario que los equipos administrativos y contables, conozcan conceptos básicos sobre eficiencia energética y que ingenieros se integren al grupo de toma de decisiones gerenciales y nuevos proyectos.

El tema de ahorro y uso eficiente de la energía requiere capacitación continua.

Este diagnóstico energético es un caso particular donde aparentemente todo funciona como fue planeado, no presenta problemas que afecten la continuidad del proceso, sin embargo se pudo validar la hipótesis de que aun con equipos eficientes, existen áreas de oportunidad para mejorar en cuanto al uso de la energía, es ahí donde radica la importancia de la capacitación y el interés por evaluar las instalaciones y procedimientos.

En cuanto al caso particular, la inversión inicial, pudo haberse reducido significativamente, así como los costos de mantenimiento y operación de haber hecho una buena selección de sus equipos eléctricos.

Este proyecto busca la integración de los distintos factores que intervienen en el complejo tema de eficiencia energética, técnico, económico, político, social, medioambiental y plantea que esta es la mejor manera para buscar soluciones y atacar las causas.

Por último es importante mencionar, que no basta con contar con equipos eficientes, políticas energéticas, reglamentos y conocimiento, lo verdaderamente relevante es desarrollarlo, aplicarlo y mejorarlo.

Referencias

- 1 Estadística del Programa de la Industria Manufacturera, Maquiladora y de Servicios de Exportación (IMMEX) 2016, Internet, disponible en: http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/INMEX/Presentaci%C3%B3n_Estad%C3%ADstica_IMMEX.pdf Consultado en: 05/02/2017
- 2 Comisión Reguladora de energía, Reporte de estadísticas del sector eléctrico, Internet, Disponible en: <http://www.cre.gob.mx/documento/3045.pdf> Consultado en: 05/02/2017
- 3 World Energy Outlook 2016 Agencia Internacional de Energía, Internet, Disponible en: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WorldEnergyOutlook2016ExecutiveSummaryEnglish.pdf> Consultado en: 05/02/2017
- 4 Balance nacional de energía 2015, Secretaria de Energía, Internet, disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/248570/Balance_Nacional_de_Energ_a_2015__2_.pdf Consultado en: 05/02/2017
- 5 INEGI, Información Oportuna, Internet, disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/temas/default.aspx?s=est&c=23824> Consultado en: 10/02/2017.
- 6 Banco Mundial, Consumo Global de Energía, Internet, Disponible en: <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.COMM.FO.ZS?view=chart> Consultado en: 10/02/2017
- 7 American Council for an Energy-Efficient Economy ACEEE, Internet, Disponible en: <http://aceee.org/state-policy/scorecard> Consultado en: 12/02/2016
- 8 Secretaría de Protección al Ambiente 2017 SPABC, Internet, Disponible en: http://dceg.bajacalifornia.gob.mx/Sasip/documentos/archivos/SPA1920177181225313_1.pdf Consultado en: 18/02/2017
- 9 Diario Oficial de la Federación, Ley de transición energética 2017, Internet, Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5421295&fecha=24/12/2015 Consultado en: 18/02/2017
- 10 Periódico de la Energía, Internet, disponible en <https://elperiodicodelaenergia.com/aie-solo-se-aplica-la-eficiencia-en-el-30-del-consumo-energetico-global/> Consultado en: 12/02/2017
- 11 Programas de eficiencia energética en México, María Elena Sierra G. Foro de energía sostenible para Centro y Norteamérica CONUEE 2008, Internet, Disponible en: <http://www.oas.org/dsd/Energy/Meeting/ElSalvador/Documentos/Maria%20Elena%20Sierra%20CONAE.pdf> Consultado en: 20/02/17
- 12 La economía mundial entre la segunda guerra mundial y la crisis del petróleo: colección resúmenes universitarios nº 515, Mauricio Fau, Amazon Digital Services, Asin: B01CT5KXLY, Marzo 9, 2016.

13 Declaración de Estocolmo sobre el medio ambiente humano, 16 de junio de 1972, Internet, Disponible en:

<http://www.ordenjuridico.gob.mx/TratInt/Derechos%20Humanos/INST%2005.pdf> Consultado en: 24/02/2017

14 México. Crecimiento Con Desigualdad Y Pobreza, Documento De Trabajo Núm. III - 2003 Manuel Gollás El Colegio de México Febrero, 2003, Internet, Disponible en: <http://cee.colmex.mx/documentos/documentos-de-trabajo/2003/dt20033.pdf> Consultado en: 01/03/17

15 Balance nacional de energía 2015, Secretaria de energía, Internet, Disponible en: <https://www.gob.mx/sener/documentos/balance-nacional-de-energia> Consultado en: 05/03/2017

16 México Evolución económica, pobreza y desigualdad Nora Claudia Lustig, Internet, Disponible en: <http://fundacionmerced.org/bibliotecadigital/wp-content/uploads/2013/05/M%C3%A9xico-Evoluci%C3%B3n-econ%C3%B3mica-pobreza-y-desigualdad-Lustig.pdf> Consultado en: 10/03/2017

17 75 AÑOS DE ENSEÑANZA Y PRÁCTICA DE LAS CIENCIAS EN MÉXICO, Arcadio Poveda Ricardo, Internet, disponible en: http://www.posgrado.unam.mx/sites/default/files/2016/02/0105_75_anos_de_ensenanza.pdf Consultado en: 12/03/2017

18 Diario oficial de la federación Programa Nacional de Energéticos 1984-1988 SEGOB, Internet, Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4683406&fecha=15/08/1984 Consultado en: 15/03/2017

19 Estudio del impacto de medidas y políticas de eficiencia energética en los sectores de consumo, sobre el balance de energía y sobre los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero en el corto y mediano plazo, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Internet, Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110171/CGCCDBC_2012_eficiencia_energetica_en_los_sectores_de_consumo.pdf Consultado en: 15/03/2017

20 Metodologías Para La Estimación De Ahorro De Energía Eléctrica Criterios Y Factores Homologados, SENER, disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/85302/Bibliograf_a_4.pdf Consultado en: 24/03/2017

21 Fideicomiso para el ahorro de energía Eléctrica, Internet, Disponible en: http://www.fide.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=108&Itemid=180 Consultado en: 30/03/2017

22 Informe balance de NOM-ENER 2015, Internet disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/262900/Informe_de_Actividades_2015-ilovepdf-compressed.pdf Consultado en: 01/04/2017

- 23 PRODESEN 2016-2030. Internet disponible en:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/98308/PRODESEN-2016-2030_1.pdf
Consultado en: 01/04/2017
- 24 Invest in baja, Gob BC, Internet disponible en
<http://www.investinbaja.gob.mx/es/industrias/energia> Consultado en: 05/04/2017
- 25 Informe Anual CFE 2015, Internet, Disponible en:
https://www.cfe.mx/inversionistas/Documents/informe_anual/Informe-Anual-2015-CFE-Acc.pdf Consultado en: 10/04/2017
- 26 Baja California: perfil energético 2010- Muñoz Gabriela, Héctor E. Campbell Ramírez Díaz Eliseo Quintero Margarito Internet, Disponible en:
<http://www.investinbaja.gob.mx/docs/en/infrastructure/services/electricity/perfil-energeticoBC2010-2020.pdf> Consultado en: 16/04/1993
- 27 Anuario Estadístico Y Geográfico De Baja California 2017 Internet Disponible En:
http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espano/lbvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825094874.pdf ACCESADO EN:
16/04/2017
- 28 Inventario nacional de gases y compuestos de efecto invernadero, Internet disponible en:
<https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero> Consultado en: 19/04/2017
- 29 Papel y Medio Ambiente, Internet, Disponible en:
<https://www.ecologistasenaccion.org/?p=14645> Consultado en: 20/04/2017
- 30 Papel y su impacto ambiental, greenpeace, Internet, disponible en:
http://archivo.estepais.com/inicio/historicos/94/14_Medio%20ambiente_El%20papel_greenpeace.pdf Consultado en: 20/04/2017
- 31 Cámara Nacional del papel 2016 Información corporativa, Internet, disponible en:
<http://camaradelpapel.mx/informacion-corporativa/> Consultado en: 20/04/2017
- 32 Fnd Financiera Nacional De Desarrollo Agropecuario Rural, Forestal Y Pesquero, Internet, Disponible En: <https://www.altonivel.com.mx/empresas/negocios/34383-bio-pappel-y-el-exito-del-papel-reciclado/> Consultado en: 24/04/2017
- 33 Energy indicators for sustainable development: guidelines and methodologies international atomic energy agency Vienna, 2005, Internet Disponible en: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1222_web.pdf Consultado en: 25/04/2017
- 34 Indicadores de eficiencia energética: fundamentos estadísticos oecd/iea, 2016 international energy agency 9 rue de la fédération 75739 paris cedex 15, france.
- 35 Indicadores de eficiencia energética: Fundamentos estadísticas, Internet, Disponible en:
https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/IndicadoresdeEficienciaEnerg%C3%A9tica_FundamentosEstad%C3%ADsticos.pdf Consultado en: 28/04/2017

- 36 Diagnósticos energéticos para usuarios de Comisión Federal de Electricidad a nivel industrial, Jasso Vargas, tesis, UNAM, 2012
- 37 Gilberto E Harper, Conceptos Básicos De La Generación, Transmisión, Transformación Y Distribución De Energía Eléctrica, 1 ed, editorial Limusa, 2014
- 38 Metodología De Análisis De Calidad De Energía Eléctrica En El Sector Salud De Mexicali, Baja California, Alberto Jumilla, Tesis, Instituto de Ingeniería 2017
- 39 Percy Viego F. Temas Especiales de Sistemas Eléctricos Industriales. Universo Sur, 2007.
- 40 Programa Integral De “Asistencia Técnica Y Capacitación Para La Formación De Especialistas En Ahorro Y Uso Eficiente De Energía Eléctrica De Guatemala”, Internet , Disponible en:
[http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/001%20M%C3%B3dulo%20I%20\(Diagn%C3%B3sticos%20Energ%C3%A9ticos\).pdf](http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/001%20M%C3%B3dulo%20I%20(Diagn%C3%B3sticos%20Energ%C3%A9ticos).pdf) Consultado en: 01/05/2017
- 41 Programa Especial de Energía de Baja California 2015-2029, Internet, Disponible en:
<http://www.copladebc.gob.mx/programas/especiales/Programa%20Especial%20de%20Energia.pdf> Consultado en: 10/05/2017
- 42 Linders J. Effects of Power Supply Variations on AC Motor Characteristics. IEEE Transaltion on Industry Applications. Vol 1A-8 No.4
- 43 J. Using Asds With Variable Torque Aplications. Energy Matters U.S. Department of Energy. March/ Abril 2000 Internet, Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/43531695_Una_vision_integral_para_el_uso_racional_de_la_energia_en_la_aplicacion_de_motores_electricos_de_induccion Consultado en: 20/05/2017
- 44 Paperwork: comparing recycled vs virgin paper Susan Kinsella, Internet, Disponible en:
<http://conservatree.org/learn/WhitePaper%20Why%20Recycled.pdf> Consultado en: 23/05/2017
- 45 Fundamentos sobre ahorro de Energía, José Juan Soto, Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Ingeniería Química 1996
- 46 How the paper is made, Internet, Disponible en: <https://www.sappi.com/how-paper-made> Consultado en: 25/05/2017
- 47 Dr. Percy Rafael Viego Felipe Induction motor power factor and efficiency IN-SITU determination under partial loads 2014.
- 48 El Cambio Climático: Sus Causas Y Efectos Medioambientales, Dr. José Luis Useros Fernández, el 22 de Noviembre de 2012.
- 49 75 Años De Enseñanza Y Práctica De Las Ciencias En México, Arcadio Poveda Ricardo, Internet, disponible en:
http://www.posgrado.unam.mx/sites/default/files/2016/02/0105_75_anos_de_ensenanza.pdf Consultado en: 06/06/2017

50 Ahorro De Energía Eléctrica Mediante Motores Eléctricos De Inducción De Alta Eficiencia, Fide, Cnne, Internet, Disponible en:
[http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/004%20M%C3%B3dulo%20IV%20\(AEE%20Motores%20de%20Inducci%C3%B3n\).pdf](http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/004%20M%C3%B3dulo%20IV%20(AEE%20Motores%20de%20Inducci%C3%B3n).pdf) Consultado en: 20/06/2017

51 Efecto de la reparación/ rebobinado en la eficiencia del motor electrical apparatus service association inc. Internet, disponible en:
https://www.easa.com/sites/files/resource_library_public/EASA_AEMT_RewindStudy_Spanish_1203-0316.pdf Consultado en: 05/07/2017

52 CFE tarifas electricas, esquema anterior, internet, disponible en:
https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_industria.asp Consultado en: 05/07/2017

Cronograma

Actividad	2016-2						2017-1						2017-2					
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene
Revisión bibliográfica	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓						
Redactar protocolo de investigación		✓	✓	✓														
Validar objetivos generales y específicos			✓	✓														
Definir estructura de documento de tesis					✓	✓	✓	✓										
Reconocer el proceso de producción de papel								✓	✓	✓								
Realizar visita de reconocimiento										✓	✓	✓	✓					
Identificar sistemas energéticos											✓	✓	✓	✓				
Desarrollar una guía de captura sistemática de información											✓	✓	✓	✓				

Actividad	2017-2						2018-1					
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Elaborar una estrategia para el diagnóstico energético	✓	✓	✓									
Realizar inventario de cargas			✓	✓	✓							
Elaborar lista de equipos y sistemas de baja eficiencia				✓	✓	✓						
Determinar áreas de mayor potencial de ahorro de energía					✓	✓						
Elaborar catálogo de acciones y medidas de ahorro						✓	✓					
Evaluar impacto de la implementación							✓	✓				
Evaluar Inversión y tiempo de retorno									✓	✓		
Redactar tesis							✓	✓	✓	✓	✓	✓