

Análisis Y Diagnóstico Del Consumo Eléctrico En Una Empresa Manufacturera De Calzados

Fradis Ismael Concepción Fabián, Yeralda Bocio, Kelvin Medrano.

• Resumen

El presente análisis y diagnóstico del consumo de energía eléctrica ha sido realizado en una empresa manufacturera del sector industrial dedicada a la fabricación de calzados en República Dominicana, entre los meses de julio y agosto del año 2022.

En la elaboración de este trabajo de fin de grado fueron tomados como referencia los lineamientos establecidos en la norma ISO 50002; estructurando las etapas del proceso de auditoría y analizando el consumo energético de las instalaciones eléctricas de la empresa.

Para ello, el personal encargado de operación y mantenimiento de la empresa ha proporcionado los datos técnicos de sus instalaciones eléctricas, su itinerario de producción, el histórico de la misma y de su consumo energético, entre otros datos, los cuales han sido necesarios para elaborar los análisis correspondientes.

Además de lo anterior, se llevaron a cabo visitas técnicas a la fábrica con el objetivo de realizar entrevistas al personal encargado para conocer en detalle la situación energética actual, las actividades operativas de la misma, sus planes de mantenimiento eléctrico y realizar las mediciones eléctricas pertinentes.

Una vez realizadas las visitas técnicas a las instalaciones, haber realizado la recopilación de los datos correspondientes y el análisis de estos, se han identificado distintas propuestas basadas en ahorro económico y/o ahorro energético.

Las propuestas han sido evaluadas desde el punto de vista técnico, obteniendo el ahorro energético eléctrica que representan, y desde un punto

de vista monetario, considerando el beneficio económico asociada a cada propuesta y el tiempo de retorno de esta a partir de la proyección de ahorro económico.

• Introducción

En la actualidad los conceptos sobre ahorro y eficiencia energéticos están tomando cada vez más un carácter de urgencia, debido a razones como el impacto adverso que se observa en el medio ambiente producto del accionar del ser humano para desarrollarse en la sociedad, siendo la producción y el consumo de energía los factores principales de emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Además, del creciente encarecimiento de los combustibles fósiles enfatizado por variables como intereses geopolíticos, agotamiento de petróleo convencional, entre otros..., lo que tiene un impacto directo en el precio de la energía eléctrica.

Las industrias consumen cerca del 40% de la electricidad, de la cual dos terceras partes son utilizadas por motores eléctricos. Por lo que una de las medidas más significativas para enfrentar esta problemática es realizar cambios significativos en el sector industrial.

Una auditoría energética tiene como objetivos principales determinar cómo, dónde, cuándo y cuánta energía se consume en los diversos procesos de la industria. Esta está orientada a identificar oportunidades de mejora en el uso de la energía y sus operaciones, es decir, eficientizar el cómo utilizan sus recursos energéticos.

Bajo esta premisa se realizó un análisis energético en una empresa manufacturera de calzados siguiendo los lineamientos de la norma ISO

• Metodología

Siguiendo los lineamientos definidos por la norma ISO5002 el desarrollo de las actividades para realizar la auditoria energética fue realizada como se describe en los temas subsiguientes.

3.1 Herramientas utilizadas

Durante esta investigación se utilizaron las siguientes herramientas:

- Diagrama de Sankey.
- Diagrama de Ishikawa
- Diagrama de Pareto
- Norma ISO 50002:2014.
- Multímetro Digital Gráfico Fluke 867B.
- Multímetro Digital Fluke 335.
- Analizador de Redes Data Logger eGauge EG4015.
- AutoCAD 2023.
- DJI Mavic II Zoom.
- Helioscope.
- PVSyst.
- Dronedeploy.
- PVSolar.

3.2 Reunión de inicio

La reunión fue realizada con el encargado del área de mantenimiento eléctrico de la empresa donde se presentaron las actividades y objetivos de la investigación, posteriormente se realizó una visita guiada por toda la instalación con el propósito de realizar una inspección visual preliminar para conocer la distribución de los equipos eléctricos e identificar los posibles puntos de medición.

3.3 Recolección de datos y visitas a campo

Con base en los levantamientos realizados y los

datos provistos por el personal junto al encargado de mantenimiento se procedió a realizar un diagrama de la instalación eléctrica de la empresa con la debida distribución de los diferentes equipos que permitió identificar cómo se interconectan las diferentes maquinarias en la realización de los productos. En dicho diagrama se identificó la ubicación de los tableros de distribución, en donde se previó realizar la mayoría de las mediciones eléctricas.

Procesada esta información se procedió a realizar un diagrama unifilar, en donde se identificó que la empresa cuenta con una acometida trifásica trifilar, un banco de transformadores (12.5 kV – 120/208 V), tres generadores diésel de emergencia, un banco de capacitores con capacidad de 100 kVAR de cinco etapas y varios tableros de distribución.

Figura 1: Diagrama unifilar de la empresa manufacturera de calzados.

Basados en los datos suministrados por el encargado de mantenimiento de la empresa, se obtuvo un histórico de consumo que comprende desde junio de 2020 hasta julio de 2022, al igual que lo facturado en pesos dominicanos en dichos meses.

En las subsiguientes visitas técnicas realizadas a la empresa fueron recolectadas las informaciones de placas características de los equipos involucrados en la producción de calzado. Además, se identificaron las ubicaciones de ciertos equipos en las instalaciones eléctricas de la empresa, claves para el análisis y recolección de datos, tales como, medidores de consumo eléctrico, totalizador, paneles de distribución, interruptores termomagnéticos, tomacorrientes y las cargas.

3.3 Plan de medición

Durante las visitas se pudo apreciar que para tener una idea más completa sobre el comportamiento de la demanda energética durante las horas de producción era necesario una medición registrada electrónicamente durante un periodo de tiempo representativo respecto a su modo de producción. Bajo esta premisa se decidió que los equipos adecuados para realizar las mediciones son los siguientes:

Figura 2: Equipos para mediciones de magnitudes eléctricas. A) – Multímetro Digital Gráfico Fluke 867B, B)- Multímetro Digital Fluke 335 y C)- Analizador de Redes eGauge EG4015.

Las mediciones se realizaron en el panel ubicado en el transfer del cuarto de equipos eléctrico durante 7 días. En el proceso se censaron los siguientes parámetros: tensión, corriente, potencia, energía, frecuencia y sus armónicos. Para verificación de los parámetros se utilizó el multímetro digital Fluke 867B y para fines de registro de estos datos se utilizó el analizador de redes eGauge EG4015.

Sobre la base de las recopilaciones de datos realizadas (cantidad de equipos, datos de placa características y horas de uso de los equipos) se procedió a estimar el consumo eléctrico anual por equipos, el cual servirá de referencia para las propuestas de mejora.

Para las horas de uso de los equipos se tomó en cuenta el horario laboral de la empresa, el cual es el siguiente:

- Lunes a jueves de 8:00 AM a 5:00 PM.
- Viernes de 8:00 AM a 6:00 PM.

En ambos casos se tiene una hora libre para almuerzo, por lo que resulta en una jornada laboral de 41 horas semanales y aproximadamente 1,968 horas anuales.

3.4 Variables Relevantes

A partir de las informaciones suministradas por el personal de la empresa y los levantamientos realizados durante las visitas técnicas a la misma, se identificaron dos variables relevantes que tienen impacto en el desempeño energético de la empresa las cuales se plantearon en un diagrama de Ishikawa.

Las variables identificadas fueron las siguiente:
Planeación: se logró evidenciar que ciertos equipos que se caracterizan por tener un consumo eléctrico que no depende de la carga, funcionan en diferentes periodos de tiempo sin carga o con carga incompleta, generando que el consumo eléctrico de estos sea mayor a lo necesario.

Mantenimiento: En las visitas realizadas y de acuerdo con las informaciones suministradas se evidenció la falta de personal para realizar mantenimientos, esta situación produce retrasos en la realización de acciones correctivas lo que ocasiona que no se logren resultados óptimos, lo cual impacta negativamente en el rendimiento de los equipos.

3.5 Análisis de los datos

A partir de la estimación del consumo eléctrico anual de los equipos se procedió a realizar el diagrama de Pareto en donde se observó que más del 50% del consumo de energía eléctrica consumida estaba dado por los siguientes equipos:

- Calentadora de Cuero.
- Compresor #1.
- Máquinas de Costura.
- Iluminación.

De cara a verificar la veracidad de dichas estimaciones se procedió a comparar los valores de estas respecto al histórico de consumo y la medición realizada con el analizador de redes. Al comparar el consumo estimado que se tendría en un horizonte anual respecto al consumo de los últimos doce meses facturados, el análisis arrojó que las estimaciones realizadas poseen un error porcentual de 4.90%.

| | |
|--|------------|
| Consumo Anual Estimado (kWh/Año) | 330,358.57 |
| Consumo junio 2021- julio 2022 (kWh/Año) | 314,160.00 |
| Error Porcentual (%) | 4.90% |

Tabla 1: Comparativa estimación Consumo Anual respecto al último Consumo Anual Facturado. De igual manera, pero tomando un horizonte de consumo energético semanal, el error porcentual de las estimaciones respecto a las mediciones con el analizador de redes arrojó un error porcentual arrojado es de 7.12%.

| | |
|--|----------|
| Consumo Semanal Estimado (kWh/Semana) | 9,737.26 |
| Consumo Semanal Mensurado (kWh/Semana) | 9,090.15 |
| Error Porcentual (%) | 7.12% |

Tabla 2: Comparativa estimación Consumo Semanal respecto al último Consumo Semanal SENSADO. Sobre la base de los cálculos realizados podemos afirmar que el máximo error porcentual contenido en las estimaciones de consumo energético real-

izadas no supera el 7.12%.

• Conclusiones

Basado en los datos arrojados por análisis realizado en la auditoría energética, se han identificado que las propuestas que pueden ser implementadas por la empresa manufacturera de calzados tienen dos enfoques, un enfoque del consumo eléctrico y un enfoque de la generación eléctrica. Enfoque en el consumo eléctrico:

- Cambio de tarifa eléctrica.
- Cambio de luminarias fluorescentes a luminarias LED.

Enfoque en Generación eléctrica:

- Autoabastecimiento a partir de paneles fotovoltaicos.

4.1 Cambio de tarifa

A partir de las facturas eléctricas se identificó que el cliente está bajo un régimen tarifario MTD-2 y a partir del perfil de carga generado por la data recolectada con el analizador de redes, se pudo visualizar que el grueso del consumo energético coincide, lógicamente, con las horas de actividad de la empresa, por lo tanto, los picos máximos de potencias (que rondan los 172 kW) se dan entre 8:00 AM a 7:00 PM.

Tras analizar los regímenes tarifarios para clientes de media tensión, definidos por la Superintendencia de Electricidad (SIE) y la resolución SIE-007-2021-MEMI (“Modificación Periodo Horas de Punta Dispuesto en Resolución SIEC-237-98, de Fecha 30/10/1998”), se ha evidenciado que la empresa manufacturera de calzados puede optar por un cambio de tarifa de MTD-2 a MTH, esto debido

a la naturaleza horaria de sus actividades.

El régimen tarifario MTH puede ser aplicado a clientes que requieran desempeñar sus actividades en horarios fuera de punta en sus instalaciones, por lo que, basados el perfil de carga, se recomienda cesar las actividades productivas a no más tardar las 6:45 PM, con el fin de obtener una reducción paulatina de la carga y con esto reducir la misma a valores mínimos registrados en horas no laborables (por debajo de los 6 kW) para evitar cargos por registrar potencia máxima en horario de punta.

Tras el análisis del perfil de carga, generado por el analizador de redes procedimos a realizar una comparativa de los costos que se tendrían tanto con la tarifa MTD-2 como con la tarifa MTH. Para realizar esta comparativa escogimos los precios del tarifario más actualizado¹ y de los últimos doce meses del histórico de consumo eléctrico se escogió el mes de menor consumo, el mes de mayor consumo y el promedio del consumo mensual.

Como el ahorro porcentual del consumo del mes promedio representa el mismo ahorro porcentual a nivel anual, se concluye que luego de realizado el cambio tarifario la empresa puede obtener un ahorro monetario porcentual de un 18.91% anual. Por lo que tomando como referencia el gasto de los últimos doce meses registrados, que es de RD\$3,369,747.53, el ahorro monetario anual, basado en el análisis realizado, sería de RD\$637,219.26.

4.2 Cambio de luminarias

Tras las visitas realizadas con el objetivo de realizar un inventario de equipos, se evidenció que

las luminarias instaladas en el área de producción son del tipo fluorescentes, las cuales por cantidad y potencia unitaria representan una parte importante del consumo en la instalación, tal y como queda demostrado en el “Diagrama de Sankey” realizado sobre el consumo eléctrico por equipos en donde estas, como conjunto, representan el 11.66% de todo el consumo eléctrico anual.

Para tener de manera concreta el ahorro energético por el cambio de luminarias se realizó una tabla comparativa entre la luminaria actual y la propuesta. La diferencia de potencia es de aproximadamente un 41% y en vista de que la potencia y la energía se relacionan de manera lineal, respecto al tiempo, esta diferencia porcentual sería la misma para el ahorro energético. Es decir, el 41% de ahorro, se traduce en 15,799.52 kWh/Año de ahorro energético respecto a los 38,535.41 kWh/Año que actualmente consumen las luminarias. En términos generales, este ahorro energético representa un 4.78% del consumo energético anual.

Tomando de referencia las tarifas más actuales a la fecha para MTD-2, luego de realizado el cambio de luminarias la empresa puede obtener un ahorro monetario porcentual de un 4.04% anual. Esto en términos monetarios representarían unos RD\$136,295.00 anuales.

Considerando el aumento tendencial que se ha visto reflejado en las resoluciones emitidas por la Superintendencia de Electricidad (SIE), iniciando con la resolución “SIE-083-2020-TF” asociados al costo del tarifario eléctrico de manera trimestral, el beneficio de implementar esta medida irá en aumento.

4.3 Instalación de paneles fotovoltaicos

Luego de una inspección virtual, utilizando plataformas como Google Maps y Google Earth, de los techos de las instalaciones se evidenció que los mismos ocupan un espacio, con dimensiones y geometría favorable para la instalación de paneles solares fotovoltaicos.

Se procedió a hacer un levantamiento de estos para dimensionar la cantidad de paneles que pudiesen ser instalados, en función a esto modelar la generación eléctrica de dichos paneles y consecuentemente analizar el impacto de la generación eléctrica en la cobertura del consumo eléctrico de la compañía a nivel anual.

Con la utilización de un dron DJI Mavic 2 Zoom, y herramientas de software como Helioscope, Drondeploy, AutoCAD y PVSyst, se pudo realizar el levantamiento de los techos, con el fin de determinar la cantidad de paneles que pudiesen ser instalados y a partir de esto realizar un modelado de la generación eléctrica.

Tras realizar el diseño se evidenció que utilizando módulos fotovoltaicos Jinkosolar JK-M550M-72HL4-V con potencia de 550 Wp se pudiera obtener una planta con capacidad de 202.95 kWdc y 160 kWac, cubriendo hasta un 92% de la demanda anual energética de dicha empresa. Esto en términos monetarios representaría un ahorro de unos RD\$2,660,370.10 anuales.

Cabe destacar que esta simulación de generación se realizó basada considerando que para instalar la planta fotovoltaica se debe de optar por el programa de medición neta, el cual consiste en inyectar a la red de distribución la energía no consumida, producida por la planta fotovoltaica, gen-

erando un crédito por dicha energía, y que a final de cada mes es debitado de la factura eléctrica.

• Conclusiones

A partir de los estudios realizados en la empresa manufacturera de calzados se ha determinado el impacto que se tiene al realizar una auditoría energética y a su vez conocer los procesos asociados a su consumo eléctrico.

Partiendo del procesamiento de los datos recopilados en el proceso de análisis y diagnóstico energético se identificaron las posibles oportunidades de ahorro de energía eléctrica, lo que contribuye con la eficiencia de la empresa y por consiguiente con la competitividad de esta en el mercado.

Al comparar la tarifa eléctrica contratada por la empresa y las tarifas definidas por la Superintendencia de Electricidad (SIE) de la República Dominicana, se ha determinado que, la empresa bajo estudio cumple con los requisitos para migrar a una nueva tarifa eléctrica, obteniendo así mayores beneficios económicos.

Al estudiar la situación actual, el histórico de operación y de consumo energético, de la empresa bajo estudio, fueron identificadas oportunidades de mejora relacionadas con la eficiencia de los equipos, específicamente de las luminarias actualmente utilizadas en sus instalaciones eléctricas, estas pudiendo ser sustituidas por luminarias con características técnicas similares, pero de mayor rendimiento.

Desde el punto de vista de los recursos energéticos disponibles, se identificó que la empresa

cuenta con una ubicación geográfica, características arquitectónicas y requerimientos de consumo energéticos adecuados para la instalación de paneles fotovoltaicos y con ello autoabastecer parcialmente su consumo eléctrico.

• Recomendaciones

Realizar un estudio integral de la gestión operativa de la empresa con el propósito de desarrollar políticas orientadas a eficientizar el consumo energético en sus procesos productivos. Evaluar la eficiencia de los equipos electromecánicos involucrados en sus procesos de producción con miras a reducir el gasto energético por unidad de producto.

Estudiar y dar seguimiento de los renglones tarifarios definidos por los entes reguladores del sector eléctrico de cara a definir el régimen tarifario que mejor se ajuste a la naturaleza de producción de las industrias.

Estudiar y/o dar seguimiento a las nuevas tecnologías orientadas a la reducción del consumo energético o aprovechamiento de nuevas fuentes de energía que pudieran ser implementadas en la industria.

Referencias bibliográficas

- Andersson, E.; Arfwidsson, O., Bergstrand, V. & Thollander, P. (2017). A study of the comparability of energy audit program evaluations. *Journal of cleaner production*, 142, 2133-2139.
- Hall M., Edilberto. (2010). El manejo de la Energía, más que una Alternativa, una Prioridad para la Gerencia de las Industrias de Hoy. *Prisma Tecnológico*, 2(1), 28-30.
- Ferri, G. L., & Chaves, G. de L. D. (2016).

Eficiência energética dos resíduos sólidos por meio da coleta seletiva e processos de recuperação. *Latin American Journal of Energy Research*, 1(2), 9–18. <https://doi.org/10.21712/lajer.2014.v1.n2.p9-18>.

- Gómez, J. F. (2021). Eficiencia Energética en el Sector Industrial. <https://www.orkestra.deusto.es/images/investigacion/publicaciones/informes/cuadernos-orkestra/210005-Eficiencia-Energ%C3%A9tica-Sector-Industrial-INFORME-COMPLETO-.pdf>

- Prada, D. O., Muñoz, I. L., & Berón, J. V. S. (2007). Guía didáctica para el desarrollo de Auditorías Energéticas. Grafitecnica.

- Organización Internacional de Normalización (2014). Auditorías Energéticas (ISO 50002:2014).

- Oceana. Fuentes de emisiones de gases contaminantes. Recuperado el (29 de septiembre de 2022) de: <https://europe.oceana.org/es/eu/que-hacemos/cambio-climatico-y-energias-renovables/cambio-climatico/mas-informacion/fuentes-de-emisiones-de-gases-contaminant#:~:text=La%20mayor%20fuente%20de%20las,global%20es%20el%20CO2>.

- ABB. El gasto energético en la industria. Recuperado el (27 de septiembre de 2022) de: <https://new.abb.com/drives/es/eficiencia-energetica/gasto-energetico-industria#:~:text=La%20industria%20consume%20m%C3%A1s%20del,son%20utilizadas%20por%20motores%20el%C3%A9ctricos>.

- Comisión Nacional de Energía (CNE). Guía de Inversionistas y Preguntas más Frecuentes Energía Solar Fotovoltaica Dirección Eléctrica/Octubre 2014.

- Hernández Blanco, D. Jesús (2018). Análisis de inversión en una planta fotovoltaica mediante opciones reales y computación acelerada por GPU.