

05-031

## **Implementation of an energy management system in the Department of Projects Engineering of the University of Guadalajara**

Daniel Martínez González; José G. Robledo Hernández; Luis Héctor Quintero Hernández

Universidad de Guadalajara;

The University of Guadalajara is the second largest university in Mexico hosting more than 260 000 students, plus professors, researchers and administrative staff. The monthly electricity consumption amounts to about 4GWh (about 360,000 dollars per month), being one of the companies that more electric energy demands in the State of Jalisco. One of the first actions taken to reduce the consumption and cost of energy in the University has been the realization of energy audits in some university units, as well as the installation of photovoltaic systems.

However, little has been addressed from the point of view of energy management, so this paper presents a management system that is being implemented in a university unit, based on the international standard ISO-50001: 2011; the purpose of the standard is to improve energy performance according to the cycle of continuous improvement (plan-make-study-act), allowing to obtain economic benefits in short term, in addition to the reduction of greenhouse gases. The results will allow us to evaluate the intervention process in the rest of the University.

**Keywords:** Energy management; energy performance; sustainable development

## **Implementación de un sistema de gestión de energía en el departamento de ingeniería de proyectos de la universidad de Guadalajara**

La Universidad de Guadalajara es la segunda más grande de México albergando más de 260 000 alumnos, más profesores, investigadores y personal administrativo. El consumo mensual de electricidad asciende a unos 4GWh (unos 360 000 dólares al mes), siendo una de las empresas que más energía eléctrica demanda en el Estado de Jalisco. Una de las primeras acciones que se han tomado para reducir el consumo y coste de la energía en la Universidad, ha sido la realización de diagnósticos energéticos en diversas dependencias universitarias, así como instalación de sistemas fotovoltaicos.

No obstante, poco se ha abordado desde el punto de vista de la administración de energía, por lo que en este trabajo se presenta un sistema de gestión que se está implantando en una dependencia universitaria, basado en la norma internacional ISO-50001:2011; la finalidad de la norma es mejorar el desempeño energético según el ciclo de la mejora continua (planificar–hacer–verificar–actuar) , permitiendo obtener beneficios económicos en corto plazo, además de la reducción de gases de efecto invernadero. Los resultados permitirán valorar el proceso de intervención en el resto de la Universidad.

**Palabras clave:** Gestión de la energía; desempeño energético; desarrollo sostenible

Correspondencia: hectorquintero@yahoo.com



Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

## **1. Introducción**

El consumo de electricidad en la Universidad de Guadalajara, que es la segunda más grande de México albergando más de 260 000 alumnos, asciende a unos 4GWh mensuales con un costo aproximado de 360,000 dólares al mes. Una de las acciones que se han estado tomando para reducir el consumo de la energía ha sido la instalación de sistemas fotovoltaicos, que al recurrir a tecnología cuyo costo implica un retorno de la inversión a largo plazo, se hace importante considerar opciones más rentables como la gestión de energía.

En este trabajo se presenta un enfoque más sostenible desde el punto de vista económico, ambiental y social, donde la Norma Internacional ISO-50001:2011 representa el marco básico de intervención. En efecto, mientras en otras dependencias de la Universidad de Guadalajara invierten en sistemas fotovoltaicos a un costo considerable, aquí se aborda la alternativa de administrar primero el consumo de la energía como una medida económica y ambiental más sostenible.

El Departamento de Ingeniería de Proyectos (DIP) es una dependencia de la Universidad de Guadalajara cuyo consumo y costo de electricidad se incrementó en más del 100% durante el último año; ante ello, se está proponiendo implementar un sistema de gestión de energía (SGEn) basado en la norma internacional ISO-50001:2011, aprovechando la formación, experiencia y equipamiento propios. Así, se espera contribuir al desarrollo sostenible de la institución, desde una perspectiva más integral.

## **2. Objetivos**

El DIP está instaurando un sistema de gestión energética basado en la norma internacional ISO 50001:2011, en que los objetivos principales de este trabajo son:

- Explicar el contexto de la institución educativa y analizar la brecha respecto al cumplimiento de la norma.
- Mostrar el compromiso de la alta dirección hacia el sistema de gestión de energía.
- Describir el procedimiento para la implementación del sistema de gestión energética.
- Estimar los beneficios económicos y ambientales esperados al poner en práctica los planes de acción.

## **3. Metodología**

La norma ISO 50001:2011 establece un procedimiento que orienta la metodología aquí presentada; sin embargo, se consideró conveniente conocer primero el escenario actual del DIP, así como mostrar un análisis de brechas para el cumplimiento de la norma.

### **3.1 Escenario actual**

Esta etapa consiste en determinar primero el contexto de la organización en virtud de factores internos y externos de índole económica, social y ambiental, cuya influencia puede ser relevante para la implementación de un sistema de gestión de energía (CONUEE, 2016). Luego se realiza un análisis de brechas con el propósito de obtener una calificación cualitativa que refleje el estado preliminar que guarda la organización respecto a los requisitos que establece la norma ISO 50001 (Campos, 2013).

## Contexto de la organización

El Departamento de Ingeniería de Proyectos es sede de tres posgrados (maestría y doctorado en Ciencia de Materiales, y maestría en Proyectos Tecnológicos); asimismo ofrece diversos programas de educación continua. Las líneas de generación y aplicación del conocimiento son en Ingeniería de Manufactura, Ingeniería Ambiental y Ciencia de Materiales. Ofrece también servicios diversos a empresas privadas y de gobierno en la región, y alberga una Incubadora de Empresas de base tecnológica.

Considerando que el principal energético utilizado es la electricidad, este trabajo se centra en su consumo; entre los factores externos que pueden incidir en un sistema de gestión energética se han identificado los siguientes:

- **Legales.** Existen en México normas que regulan el uso de electricidad, como la de instalaciones eléctricas, de densidad de potencia para alumbrado y de condiciones de iluminación, entre otras a considerar.
- **Económicos.** El incremento del costo de la electricidad; en este caso se trata de la tarifa HM (horaria en media tensión) que tan sólo en el periodo de mayo de 2016 a marzo de 2017 tuvo un incremento promedio mensual de 1.3% por la demanda (kW), 4.8% en la energía consumida (kWh) en periodo punta, y 10.2% en los periodos intermedio y base.
- **Sociales.** Los programas educativos de posgrado que ofrece el DIP tienen una incidencia en el entorno social, así como los servicios ofrecidos, productos de investigación aplicada y desde luego al incubadora de empresas que actualmente da trabajo formal a unos 50 trabajadores en las 9 empresas albergadas.
- **Ambientales.** Aproximadamente el 81% de la electricidad generada en México proviene de combustibles fósiles (combustóleo, carbón y gas natural) (CFE, 2016); se estima una emisión de 0.46kg de CO<sub>2</sub> por cada kWh de consumo eléctrico. Si el consumo anual de electricidad en el DIP fue de 305 241kWh, se emiten por tanto unas 140 toneladas de CO<sub>2</sub> al año, contribuyendo así al calentamiento global.

Acerca de los factores internos a tomar en consideración para el sistema de gestión de energía se pueden destacar los que se mencionan a continuación:

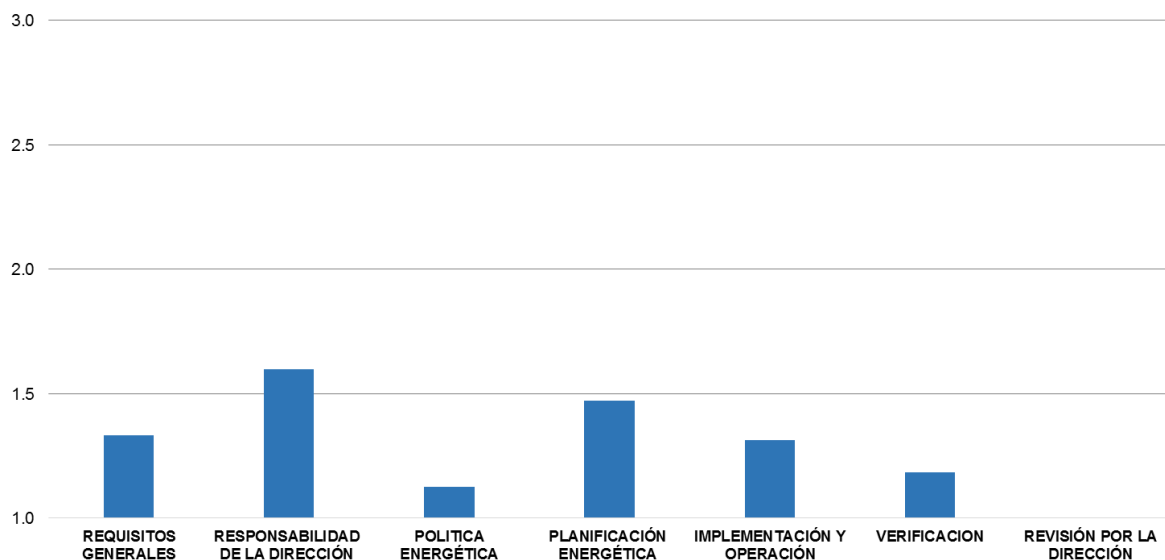
- **Económicos.** El costo de la electricidad consumida en el DIP ha tenido un incremento significativo al pasar de casi \$32 000 (pesos mexicanos) en el mes de febrero de 2015, a \$75 000 en enero de 2016; esto provocado principalmente por el hay más actividades productivas de la incubadora de empresas y el incremento de los precios de electricidad. No obstante, estos costos no se trasladan a la renta que deben pagar las empresas incubadas, ya que lo hacen en función de la superficie ocupada y no por los servicios recibidos.
- **Sociales.** El uso de electricidad en la institución ha podido afectar el entorno laboral y académico considerando dos factores principales: la calidad de la iluminación y el acondicionamiento de aire; mediciones recientes muestran que en ciertas áreas no hay las condiciones de comodidad para efectuar las actividades.
- **Ambientales.** La electricidad consumida no representa emisión de gases en el edificio, aunque sí hay otros disturbios a considerar: el ruido ocasionado por algunos sistemas de aire acondicionado (dada su edad) y los posibles residuos de las lámparas fluorescentes que se remplazan y permanecen en el recinto sin las medidas adecuadas de resguardo y desecho.
- **Técnicos y organizativos.** El hecho que haya una incubadora de empresas, en el que la diversidad de sus áreas de negocio implica la necesidad de adecuaciones de

las instalaciones eléctricas, ha provocado que en ocasiones sean los mismos empresarios quienes las hacen sin notificar a la dirección; esto ha provocado que la capacidad de tableros eléctricos, interruptores y conductores se vea comprometida, además de no tener conocimiento de sus nuevas cargas eléctricas, complicando el mantenimiento eléctrico.

### Análisis de brechas

En el caso de estudio de este trabajo se asumió la escala siguiente en relación a los requisitos de la norma ISO 50001: 1) no se cumple el requisito, 2) en proceso de cumplimiento y 3) se cumple el requisito; la figura 1 muestra el resultado del análisis de brechas inicial de la institución en los siete aspectos que estipula la norma. Debe mencionarse que el resultado correspondió a la situación imperante al inicio de la intervención en el DIP (enero de 2017), pero en los resultados se podrá ver cómo cambió la brecha al término del trabajo realizado (abril de 2017).

**Figura 1: Análisis de brechas en gestión de energía.**



El puntaje promedio del análisis de brechas fue de 1.23; el porcentaje de avance se calculó como sigue.

$$Av = \left( 1 - \frac{X_{max} - \bar{X}}{X_{max} - X_{min}} \right) 100 \quad (1)$$

Donde

$Av$  es el porcentaje de avance (%).

$X_{max}$  es la calificación máxima en la escala, es decir 3.

$X_{min}$  es la calificación mínima, o sea 1.

$\bar{X}$  es la calificación promedio obtenida del análisis, que en este caso fue 1.23.

Por tanto, la institución tiene un 11.7% de avance en el cumplimiento de los requisitos de la norma, lo que constituye un indicador a considerar.

### **3.2 Compromiso con el SGEN**

El compromiso de la organización hacia el SGEN es crucial para que pueda ser implementado y permanezca mejorando el desempeño energético, pero primero se debe estar consciente de la importancia que tiene el consumo y costo de la energía en las labores de la organización, y cómo un SGEN puede contribuir a reducir el impacto negativo en costos, productividad y medio ambiente, que afectan también la imagen de la corporación. El nivel de compromiso de la alta dirección del DIP se ve reflejado en las etapas descritas a continuación (CONUEE, 2016).

#### **Definir el alcance y límites del SGEN**

Como ya se mencionó en el contexto del DIP la electricidad es el principal energético; se tienen dos subestaciones que abastecen a los usuarios internos, distinguiéndose cuatro servicios significativos: iluminación, artefactos conectados a contactos, aire acondicionado y equipos denominados de fuerza (motores, resistencias eléctricas). Atendiendo los numerales 3.26 y 3.1 de la norma internacional ISO 50001 que definen el alcance y los límites respectivamente (ISO, 2011), se hace la siguiente declaración:

*“El Departamento de Ingeniería de Proyectos define que el alcance de su Sistema de Gestión de Energía se refiere, en una primera fase, al consumo de electricidad abarcando todos sus usuarios sean personal de la Universidad de Guadalajara como empresarios y trabajadores que conforman la incubadora de empresas; y establece que sus límites físicos son el edificio que ocupa y al que la CFE suministra electricidad bajo el Número de Servicio 441 971 107 029. En la siguiente revisión de la dirección se determinará si el alcance del SGEN incluirá el consumo de gasolina de los vehículos asignados al DIP. Enero de 2017”.*

#### **Designar un representante de la dirección y establecer un equipo de gestión de la energía**

Considerando el alcance y límites del SGEN, así como el tamaño de la organización, la dirección del DIP *“designa como representante de la dirección a Daniel Martínez González para dirigir el Sistema de Gestión de Energía, y aprueba la creación de un equipo de gestión de la energía compuesto por Eugenio González Calderón, José Guadalupe Robledo Hernández, Luis Héctor Quintero Hernández (como personal interno), y Rubén Enrique Chávez Navarro (como asesor externo). El equipo de Gestión de Energía podrá contar también con estudiantes para que realicen tesis o su Servicio Social.*

Cabe señalar que Daniel Martínez y Eugenio González están certificados como Auditores Internos en sistemas de gestión de la energía ISO 50001:2011, y tienen una larga trayectoria en estudios energéticos; José G. Robledo es experto en acopio y análisis de información, Héctor Quintero en evaluación económica y Rubén Chávez es el proveedor principal de servicios de mantenimiento y adecuaciones eléctricas en el DIP, quien cuenta también con vasta experiencia en eficiencia energética.

#### **Definir y escribir una política energética**

La política energética es la directriz para implementar un SGEN y ofrece un marco para que la organización establezca sus objetivos y metas que contribuyan a la mejora continua de su desempeño energético; de este modo se declara la siguiente.

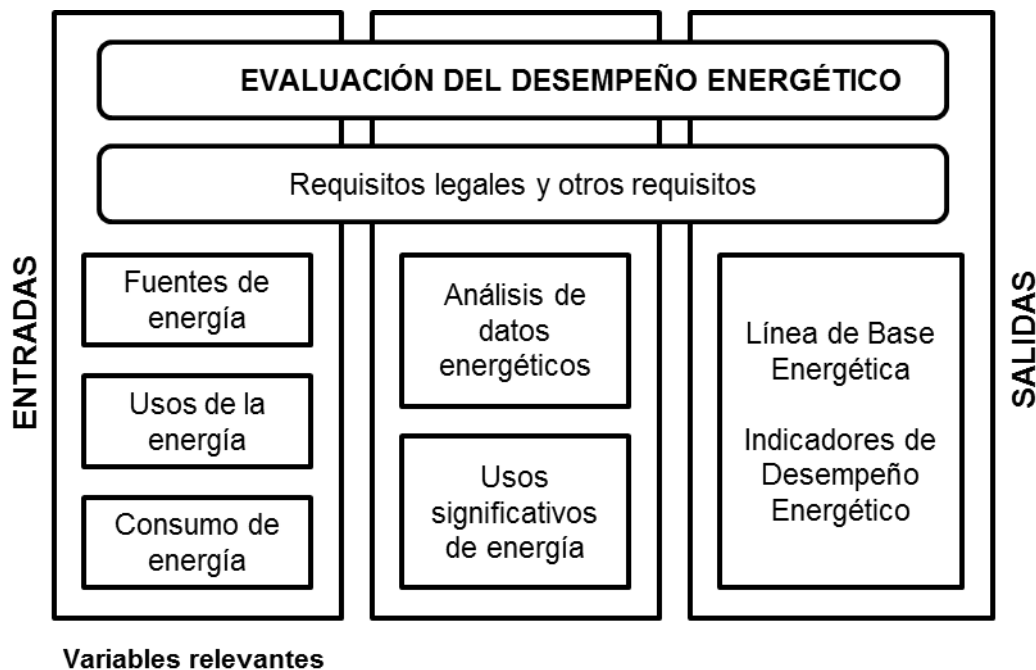
*“En el Departamento de Ingeniería de Proyectos se asume el compromiso de mejorar el uso de la energía consumida para la realización de sus actividades, cumpliendo los requisitos legales vigentes y otros institucionales que apliquen; se otorgarán los recursos para la*

*operación del sistema de gestión de energía y se informará periódicamente sobre las metas alcanzadas, contribuyendo al desarrollo sostenible de la organización. Divúlguese, publíquese y cúmplase". Abril de 2017.*

### 3.3 Evaluar el desempeño energético

La evaluación energética implica identificar los requisitos legales y otros que la propia organización pudiera establecer relacionados al uso de la energía, analizar el consumo pasado y presente de energía, para determinar así las variables relevantes. La figura 2 ilustra el proceso para evaluar el desempeño.

**Figura 2: Diagrama conceptual para evaluar el desempeño energético.**



#### Requisitos legales y otros requisitos

En México, las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) son regulaciones técnicas de observancia obligatorias, existiendo también las denominadas simplemente Normas Mexicanas (NMX) de carácter voluntario para establecer especificaciones de calidad; las primeras regulan los servicios, productos o procesos que pueden constituirse en un peligro a las personas, animales o el medio ambiente, mientras las segundas permiten establecer especificaciones de calidad (la propia ISO 50001:2011 se adoptó como NMX-J-SAA-50001-ANCE-IMNC-2011). En el caso particular del uso de la electricidad, para un usuario como el DIP se han identificado las siguientes normas obligatorias:

- NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones eléctricas (utilización).
- NOM-007-ENER-2004, Eficiencia energética en sistemas de alumbrado en edificios no residenciales.
- NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo.
- NOM-052-SEMARNAT-2005, Clasificación de residuos peligrosos. Esta tiene que ver con el desecho de lámparas fluorescentes que predominan en el edificio.

Por lo pronto, la única norma voluntaria a considerar es la NMX-J-SAA-50001-ANCE-IMNC-2011 (ISO-50001:2011); la Universidad no tiene todavía estándares corporativos relacionados a la energía.

### Fuentes de energía

Como se estableció en el alcance, la electricidad será la fuente de energía a evaluar en este trabajo; el principal suministrador es la Comisión Federal de Electricidad (CFE) aunque se dispone también de un sistema fotovoltaico interconectado. Posteriormente se incorporará el uso de gasolina en los vehículos del DIP.

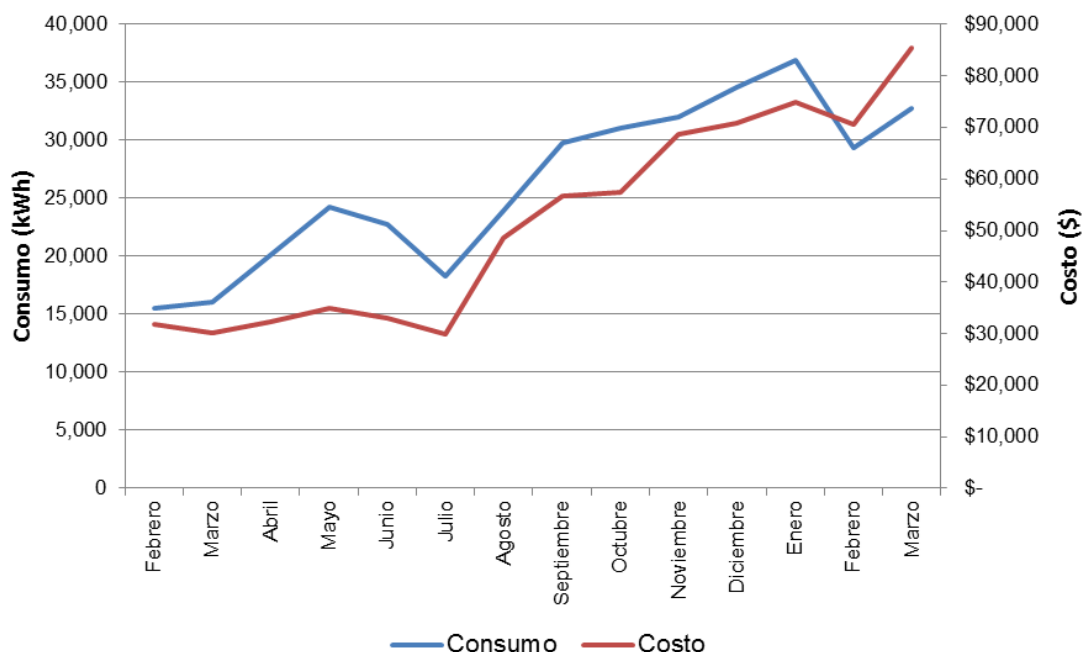
### Usos de la energía

El alcance del sistema de gestión señala cuatro usos significativos de la electricidad: iluminación, aparatos conectados a contactos, equipos de aire acondicionado y aquellos denominados de fuerza. Adelante se presenta la participación de cada uno de los servicios.

### Consumo de energía

El DIP consumió en el último año un promedio de 28 000kWh mensuales, pero tan sólo en los últimos 13 meses incrementó su consumo en 104% y el costo en casi 3 veces, lo que se puede apreciar en la figura 3 a continuación.

**Figura 3: Consumo y costo de la electricidad en el DIP (2016–2017).**



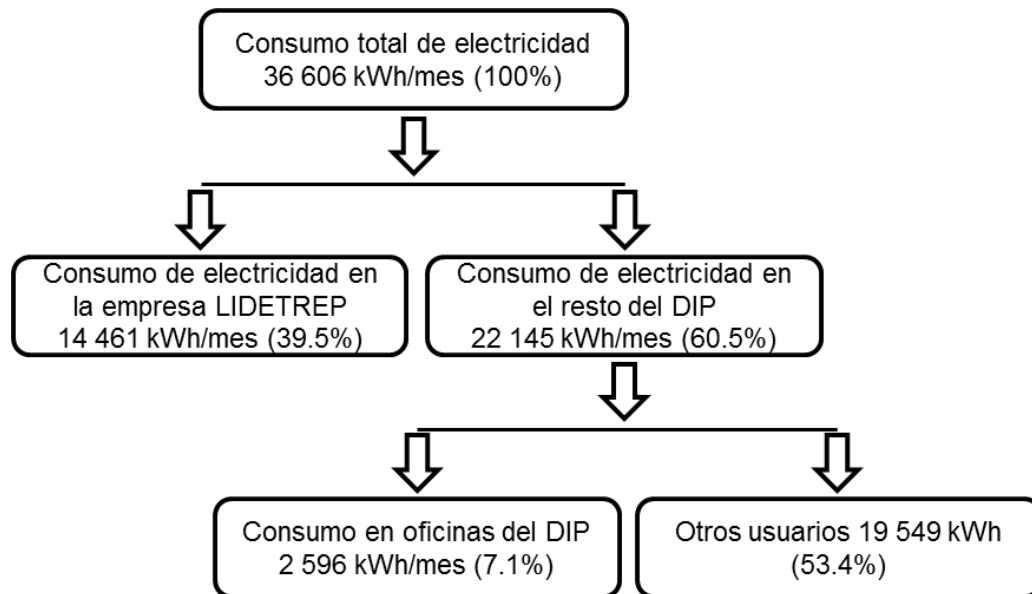
### Análisis de datos energéticos y usos significativos

El DIP recibe la electricidad en una sola acometida y cuenta con dos subestaciones: una de 500kVA que atiende exclusivamente la empresa universitaria incubada LIDETREP (dedicada al reciclado de plástico para producir diversos artículos), y otra de 300kVA para el resto de los usuarios del edificio.

Se ha identificado que la principal causa del incremento mostrado en la figura 3 es la empresa LIDETREP, que recientemente ha estado fabricando cajas para aguacates. Para lo anterior se instalaron analizadores de redes eléctricas registrando durante una semana el

consumo de ambas subestaciones, así como del área de oficinas del DIP; la figura 4 muestra un balance de energía resultado de las mediciones realizadas.

**Figura 4: Balance de electricidad en el DIP.**



Es relevante cómo una sola empresa representa casi el 40% del total, por lo que como tal se constituye en un usuario significativo de electricidad; a su vez en esta empresa el principal consumo correspondió a la inyectora de plástico que implica del orden del 96% de su consumo, siendo la iluminación y otros aparatos en contactos el restante 4% (es decir que un solo equipo consumió hasta el 38% de todo el edificio). Habiendo identificado entonces el uso más significativo de energía y midiendo su consumo, se construyó la gráfica de la figura 5 en que se aprecia que la producción en LIDETREP no guarda una regularidad y que sobre no atiende el periodo punta cuando la electricidad es considerablemente más cara.

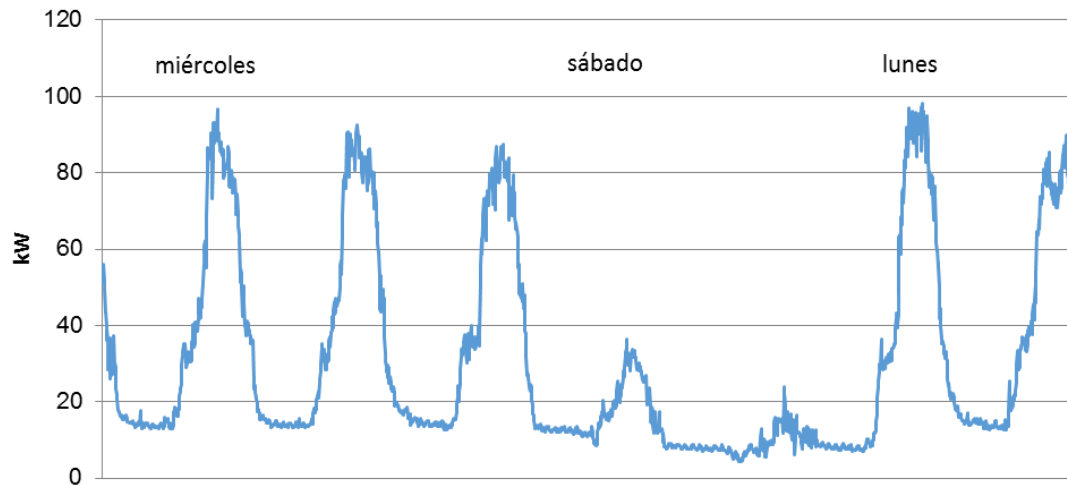
**Figura 5: Análisis del consumo eléctrico de la empresa LIDETREP.**





Respecto al consumo eléctrico en el resto del DIP, la figura 6 muestra un comportamiento típico de un edificio que, si bien tiene otras empresas incubadas, mantiene un horario normal de trabajo.

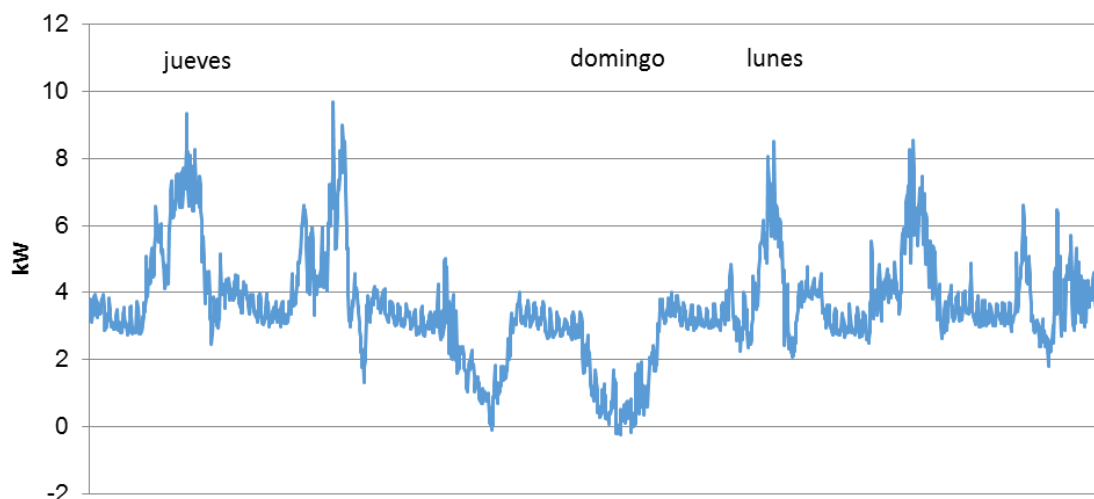
**Figura 6: Análisis del consumo eléctrico del resto del DIP.**



En general la demanda eléctrica baja de manera importante antes del periodo punta, por lo que su contribución no es tan significativa en cuanto al costo de la electricidad.

Respecto a las oficinas, el consumo energético se comporta también de acuerdo a las actividades propias del área. Es interesante observar en la figura 7 que durante el sábado y domingo hay registros de consumo “negativo” de electricidad, pero ello se explica por la contribución del sistema fotovoltaico que está conectado al tablero eléctrico de esta área.

**Figura 7: Análisis del consumo eléctrico de oficinas del DIP.**

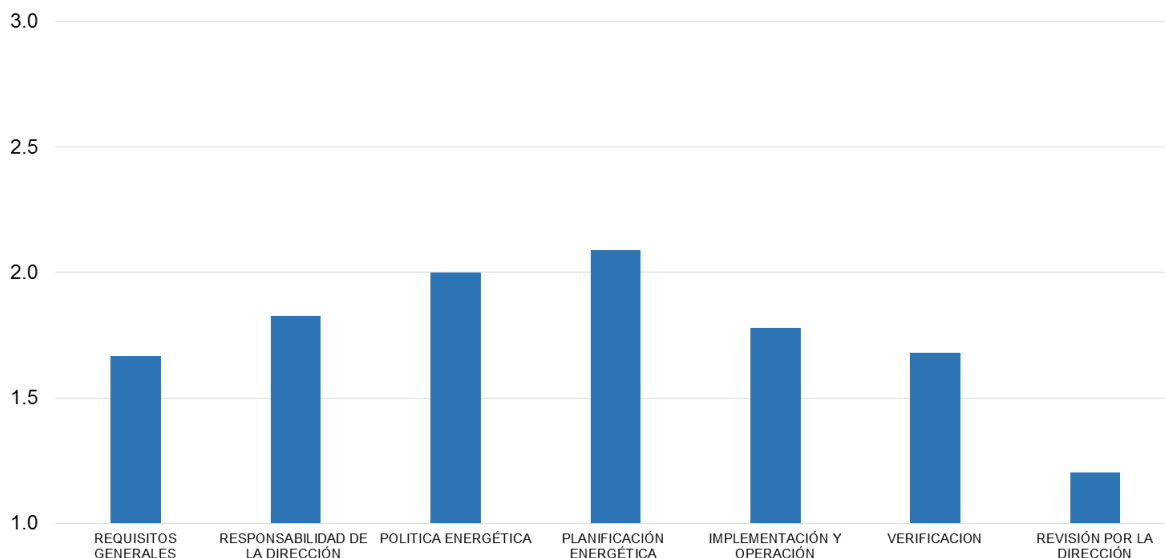


#### 4. Resultados y Conclusiones

Los principales resultados del presente trabajo son:

- 1) Establecer las bases para el compromiso de la alta dirección, que en el marco de la norma ISO-50001:2011 es fundamental tanto como requisito, como para lograr un sistema de gestión energética exitoso. Esto significó tener definidos el alcance y límites del sistema, una propuesta de política energética y la conformación de un equipo responsable de la gestión de energía para lo cual el DIP ha otorgado los recursos suficientes.
- 2) Haber identificado los requisitos legales que la organización debe atender, la fuente de energía más importante, y el consumo y costo que ésta representa, observándose una tendencia importante a incrementarse sin haber analizado la causa y por tanto, sin tomar todavía acciones para enfrentarlo.
- 3) Encontrar al usuario más significativo de energía pero que no tiene control para lograr una producción más eficiente desde el punto de vista energético, principalmente por su demanda en periodo punta. Además, la empresa LIDETREP ocasiona que el DIP tenga un bajo factor de potencia y pague por tanto una penalización del orden del 7% de la facturación total por electricidad.
- 4) La capacidad total de las subestaciones eléctricas es de 800kVA, pero la máxima demanda medida fue de apenas 150kW (unos 183kVA, o sea un 23%). Esto provoca pérdidas importantes en los transformadores y el bajo factor de potencia.
- 5) El estudio realizado permite estimar un potencial de reducción en el costo eléctrico de hasta 26% sólo por control de demanda (que LIDETREP evite periodo punta) y corrección del factor de potencia, cuya inversión sería mínima.
- 6) Otros análisis realizados están mostrando que hay zonas con deficiente nivel de iluminación y otros con excedente; estos no se incorporaron al presente trabajo ya que aún no han permitido establecer las acciones de corrección.
- 7) La brecha para el cumplimiento de la norma internacional ISO-50001:2011 se redujo desde el inicio del estudio a lo alcanzado en este trabajo, que se puede constatar con la figura 8, y en que la organización ahora tiene un avance del 37.5%, en comparación al 11.7% del inicio.

**Figura 8: Análisis de brechas en gestión de energía después de la primera intervención.**



Luego de la investigación realizada hasta el momento se puede concluir que:

- 1) La implantación de un sistema de gestión de energía basado en la norma ISO-50001:2011 permite al DIP mejorar su desempeño energético y reducir el costo por su consumo de energía.
- 2) Al ser una institución pública educativa, de investigación e incubadora de empresas, podrá mejorar su imagen social y reducir el impacto ambiental, pudiendo a su vez ser un precedente para que las demás organizaciones dentro de la propia Universidad de Guadalajara, así como en otras universidades para que incorporen sus propios sistemas de gestión energética.
- 3) Debe continuarse con el estudio para identificar los usos significativos de energía en el resto del edificio y establecer así la línea base, los indicadores de desempeño energético, objetivos y metas. Para esto será importante el acopio y análisis de más información energética.
- 4) El avance en el cumplimiento de los requisitos de la norma ISO-50001:2011 son alentadores para lograr la certificación en la ISO-50001:2011 en corto plazo.

## 5. Referencias

- Campos, J. C., & Prías, O. (2013). *Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía Guía con Base en la Norma ISO 50001*. Bogotá, Colombia: Programa Estratégico Nacional, Sistemas de Gestión Integral de la Energía.
- CONUEE. (2016). *Manual para la Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía* (2º ed). México, D. F.: Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía.
- ISO. (2011). *Sistemas de Gestión de la Energía–Requisitos con Orientación para su Uso*. Ginebra, Suiza: International Organization for Standardization.