

Caracterización del consumo de energía eléctrica del gimnasio-auditorio del TecNM/ITLaguna

F. S., Sellschopp-Sánchez^{1*}, J. M., De La Fuente-Guerrero², N. Mercado-Mora³

Resumen— En este artículo se presentan aspectos relevantes que permiten realizar la caracterización del consumo de energía eléctrica en un edificio destinado a las actividades deportivas de sala del Instituto Tecnológico de La Laguna. En este sentido es importante tomar conciencia del gasto energético que presenta la operación de dicho edificio por lo que se consideran las cargas que se encuentran instaladas y los tiempos aproximados de utilización de dichas cargas eléctricas. A través de esta información y con el consumo conocido de energía eléctrica, es posible dimensionar impactos económicos por kWh de consumo y ambientales en kG-CO₂e de acuerdo a las condiciones de uso de las instalaciones del gimnasio auditorio del ITLaguna. Para ello fue necesario realizar un censo de las cargas conectadas y en uso, así como realizar la medición de la energía eléctrica consumida, determinar la ocupación del recinto por evento y la temperatura del medio ambiente. Los resultados obtenidos llevan a la conclusión que las variables relevantes son los aislamientos térmicos del edificio que llevan a considerar el horario de uso y la ocupación del recinto de acuerdo al tipo de evento.

Palabras claves— Cargas Eléctricas, Consumo, Energía Eléctrica, Ocupación, Temperatura Medioambiental.

Abstract— Relevant aspects that allow the characterization of the consumption of electric energy in a building destined to the hall sports activities at the Instituto Tecnológico de La Laguna are presented in this paper. In this sense, it is important to be aware of the energy outflow of the building operation, so the installed loads and the approximate time of operation are considered. Through this information and with the known consumption of electrical energy, it is possible to measure economic impacts per kWh of consumption and environmental in kG-CO₂e according to the conditions of use of the ITLaguna auditorium gym facilities. For this, it was necessary to carry out a register of the connected loads in-use, as well as the measurement of the consumed electrical energy, determine the occupation of the enclosure by event and the environment temperature. The results obtained lead to the conclusion that the relevant variables are the thermal insulation of the building that lead to consider the hours of use and the occupation of the site according to the type of event.

Keywords— Electric Load, Consumption, Electric Power, Occupation, Environmental Temperature.

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de La Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación en Ingeniería Eléctrica, Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna, S/N, C.P. 27000, Torreón, Coahuila, México.

² TecNM/I.T.Laguna, área de Licenciaturas

³ Estudiante de licenciatura en ingeniería eléctrica

* sellschopp@hotmail.com

I. INTRODUCCIÓN

La electricidad es la principal fuente energética usada en la institución, por lo que la forma en cómo se utiliza y qué equipos son los mayores consumidores, permite proponer planes de acción para reducir el consumo energético de manera significativa. En este mismo sentido, El uso eficiente de la energía, así como el uso racional de la energía, son otros tópicos que deben ser considerados cuando se busca reducir el consumo de energía en una instalación.

El tema de uso eficiente de la energía se considera muy importante en donde lo primero que se busca es reducir al máximo las pérdidas energéticas que se puedan encontrar por fallas en el sistema, pérdidas naturales por falta de aislamientos en el intercambio de energía y pérdidas por mal funcionamiento de equipos. En segunda instancia está la detección de equipos ineficientes y que pueden ser cambiados por equipo con mayor eficiencia energética o aplicando cambios tecnológicos al pasar a utilizar de un tipo de energía a otro tipo de energía.

Por otra parte el uso racional de la energía también es de gran importancia ya que se debe identificar usos dispendiosos de energía que se pueden dar, ya sea por dimensionamientos inadecuados de potencia de equipos, descalibración de ajustes en los límites de operación y/o dejar trabajando los equipos cuando no es necesario su funcionamiento. Así mismo, es útil identificar aquellos equipos que no son factibles de estar apagando y encendiendo debido a que sus procesos de arranque/energización puedan consumir grandes cantidades de energía y que por ello es preferible mantenerlos en operación continua a pesar de que no sea necesario su funcionamiento para realizar trabajo de proceso, [1]-[3].

Finalmente, el diagnóstico energético es la herramienta básica y clave, necesaria para dimensionar los aspectos anteriormente mencionados, logrando con ello establecer los tipos de equipos que consumen energía eléctrica, basado en los tiempos de uso y las mediciones que haya que realizar. En este sentido es importante realizar un correcto levantamiento de información de cargas y tiempos de uso, así como también conocer la función de dichos dispositivos para así evaluar su eficiencia, [4]-[8].

II. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EQUIPO ELÉCTRICO

El consumo de energía eléctrica en cualquier equipo está relacionado con la acción de ejercer un trabajo y/o generación de calor, [9]. La acción de trabajo va desde

encender un dispositivo electrónico que nos brinda algún entretenimiento, esto al fluir la electricidad a través de la pantalla de una T.V., computadora, etc., hasta el movimiento de un motor eléctrico para el equipo de aire acondicionado, bombeo, entre otros. En todo esto considerado, existen siempre diversos procesos de conversión de la energía que permitirán obtener finalmente esa acción de trabajo.

La conversión de la energía es entonces un proceso de cambio a través de algún mecanismo que transforma de un tipo de energía a otro tipo de energía, [9]. Por lo tanto, ese mecanismo de transformación habrá de consumir, derrochar o desaprovechar energía para realizar ese proceso de transformación. En este sentido, los procesos de conversión de la energía presentan una eficiencia, en donde si un sistema realiza varios procesos de conversión, entonces habrá que considerar la eficiencia de cada proceso. Finalmente la eficiencia energética considera las eficiencias de todos los procesos de conversión que requiere el sistema, quedando la siguiente relación:

$$\eta = \frac{\text{Energía}_{\text{salida}}}{\text{Energía}_{\text{entrada}}} \quad (1)$$

La medida de eficiencia en los equipos de iluminación relaciona la energía lumínica de salida con la energía eléctrica de entrada. Con esta relación es posible realizar un cálculo adecuado con base en la intensidad luminosa que requiere un área y la potencia demandada por dichas lámparas. Con ello se aborda el problema de iluminación excesiva (sobreiluminación) para lograr una correcta iluminación con la menor potencia posible, [6].

La evaluación de la energía requerida por los sistemas de iluminación se recomienda realizarla por espacios separados. Con esto, el inventario de la iluminación permite la identificación de deficiencias, la evaluación de las mejoras y la enumeración de estas mejoras. El enfoque de separación de espacios permite que la evaluación y las recomendaciones sean más rápidas y adecuadamente dirigidas, con mejores resultados y mayor ahorro de energía, estableciendo con esto la densidad de potencia de iluminación por espacio y que su valor puede ser comparado en estándares o normas, [6]. La tabla 1 se muestra como referencia valores de la eficiencia por tipo de iluminación.

La eficiencia energética determinada para los motores eléctricos rotativos relaciona la potencia mecánica en la flecha con la potencia eléctrica de entrada. La carga mecánica parcial impuesta al motor eléctrico es un factor que degrada el valor de la eficiencia del motor, y es de mayor impacto en motores de baja potencia cuyos porcentajes de carga se encuentran por debajo del 50%, [6].

Tabla 1. Eficiencia de los tipos de iluminación en Lúmenes/Watt, adaptado de [6]

Tipo de iluminación	Min	Máx	Prom
---------------------	-----	-----	------

Candela	---	---	0.3
Incandescente	10	20	15
Fluorescente compacta	40	65	50
Fluorescente lineal	50	100	75
Halógena	15	20	17.5
Vapor de mercurio	30	60	50
Aditivos metálicos	50	90	80
Vapor de sodio alta presión	85	150	120
Vapor de sodio baja presión	100	200	150
Inducción	75	95	80
LED	60	100	90

Cuando los motores eléctricos se encuentran inmersos en un sistema integrado como en los equipos de aire acondicionado, la carga del motor supone debe estar por arriba del 75%, por lo que la eficiencia del motor debe estar prácticamente en sus valores nominales. La función que cumple el motor dentro del sistema de aire acondicionado es proveer energía mecánica al compresor, el cual comprime el gas refrigerante pasándolo de una baja presión a una alta presión, incrementando así la temperatura del gas. Este gas presurizado con alta temperatura pasa a través del condensador para hacerse líquido y ceder temperatura. Posteriormente este líquido enfriado se pasa a través de la válvula de expansión donde tendrá una reducción de presión y por consecuencia adquirirá una muy baja temperatura. Este líquido a baja temperatura extrae calor a través del evaporador y además se convierte en gas a baja presión, el cual regresa al compresor para cerrar el ciclo de refrigeración. Este proceso del aire acondicionado tendrá una eficiencia energética que relaciona la capacidad de enfriamiento del aire acondicionado en BTU/hr entre la potencia eléctrica de entrada dada en Watts, estableciéndose así la relación de eficiencia energética del aire acondicionado (EER, por sus siglas en inglés, *energy efficiency ratio*), [6].

El coeficiente o relación de eficiencia energética en aires acondicionados es mejor cuanto mayor sea dicho coeficiente. En la tabla 2, se muestra la evolución del EER de acuerdo a lo publicado en [6].

Tabla 2. Evolución de las eficiencias promediadas del EER en aires acondicionados

Año	1976	1980	1984	1988	1992	1996	2000	2004
EER	6.3	7.0	7.6	8.2	8.9	9.1	9.3	9.7

III. ANÁLISIS DEL DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

El diagnóstico energético es una parte importante de la evaluación del desempeño energético de cualquier sistema, y a través de dicho diagnóstico se identifican los usos de la energía por tipo de carga, así como se establecen los planes energéticos para reducir el uso y consumo de energía, [1]-[9]. A partir del análisis es posible también identificar la existencia de dispendios de energía de acuerdo al tipo de tarifa que se tiene establecida y a los consumos de energía que se muestran en los recibos del suministrador. La combinación de toda esta información permite correlacionar la forma del consumo

de energía con el uso de los equipos consumidores de energía y algunas variables exógenas al sistema.

El diagnóstico energético se llevó a cabo en el edificio Gimnasio-Auditorio del I.T. La Laguna, tomando en cuenta el consumo mensual por un año y realizando mediciones con registrador de energía en algunos días, además de tomar los datos de cada carga instalada dentro del edificio.

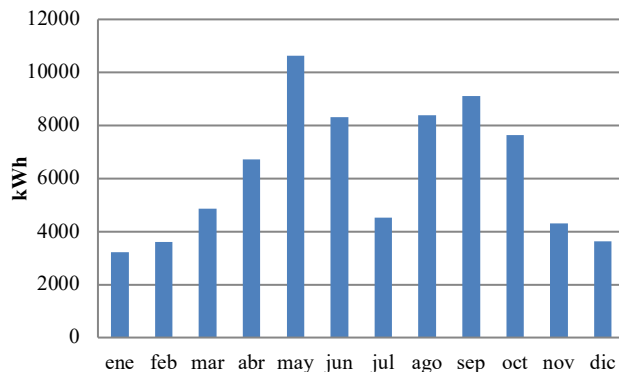


Figura 1. Consumo mensual de energía eléctrica durante un año

El consumo mensual de energía eléctrica está bajo la tarifa horaria GDMTH, teniendo registro horario base, intermedio y punta, mostrado en la siguiente figura:

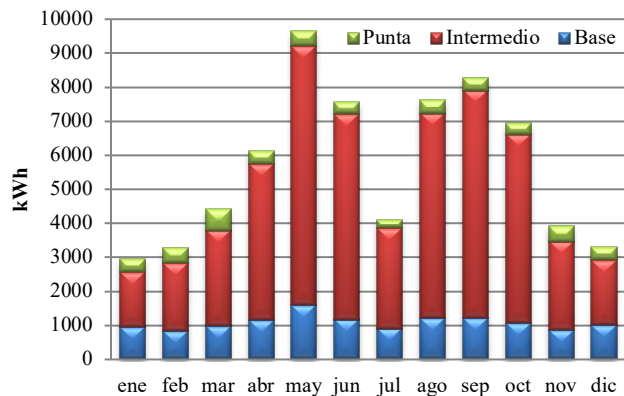


Figura 2. Consumo de energía en tarifa base (abajo), intermedio (en medio) y punta (arriba).

Considerando las actividades cotidianas en la institución, el horario de trabajo va desde las 6:30 hrs hasta las 23:00 hrs, por lo que en las madrugadas solo queda en funcionamiento los dispositivos de iluminación, algunos equipos de cómputo y switches para la red de internet. Analizando la gráfica de consumos en figura 2, se ve que existe consumo en tarifa base, por lo que se determina la potencia de la carga eléctrica que permanece conectada desde las 0:00 hrs a las 6:00 hrs.

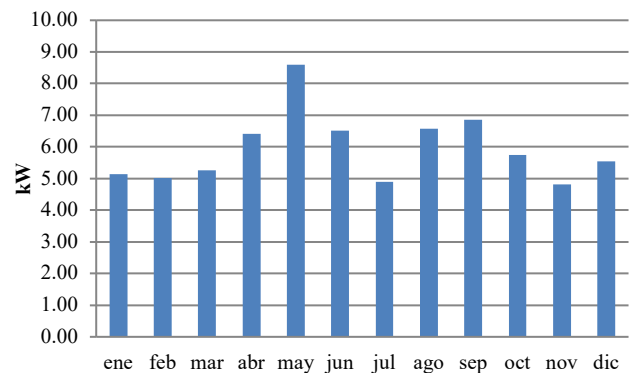


Figura 3. Estimación de carga diaria conectada en horario de madrugada en kW

En la figura 3 se observa que existe en promedio y de manera permanente por mes, una potencia conectada de 5 kW. Además se puede notar que existe incremento de potencia conectada en los meses donde se incrementa la temperatura medioambiental en la región, figura 4, por lo que esto es un indicador de que existen aparatos de aclimatación del edificio que permanecen encendidos.

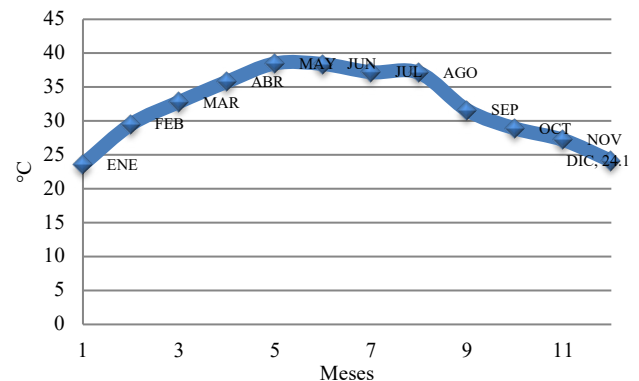


Figura 4. Temperaturas máximas promedio por mes

El conocer los tipos de cargas eléctricas conectadas en el edificio y su forma/tiempo de utilización permite por una parte tener un registro de dichas cargas y por otro lado tener un balance de energía al determinar aquellos tipos de equipos que consumen de mayor a menor cantidad de energía eléctrica. En este sentido se puede conocer los porcentajes de carga-energía que se consume por tipo de equipo y así establecer planes de ahorro de energía que sean de mayor impacto.

Se propusieron 4 tipos de equipos para contabilizar cantidades, potencia y energía consumida para un determinado mes del año. Los tipos de equipo fueron Aire acondicionado (A/C), iluminación, Electrodomésticos y equipo de oficina. En la figura 4 se muestran los porcentajes de potencia instalada por cargas que se utilizan en el edificio, de tal manera que se visualiza el impacto de

la cantidad de tipos de equipos que consumen energía eléctrica.

Para determinar el consumo mensual de energía eléctrica es necesario conocer los hábitos de uso para estimar el número de horas que operan los equipos. Esos hábitos de uso están en función de las temporadas del semestre, condiciones climáticas, eventos, entre otros. Por tanto se considera el mes de mayor consumo energético en el año, que reúne condiciones de altas temperaturas del clima, último mes del semestre y moderada cantidad de eventos. La figura 5 muestra los porcentajes estimados de consumo de energía eléctrica por tipo de equipo.

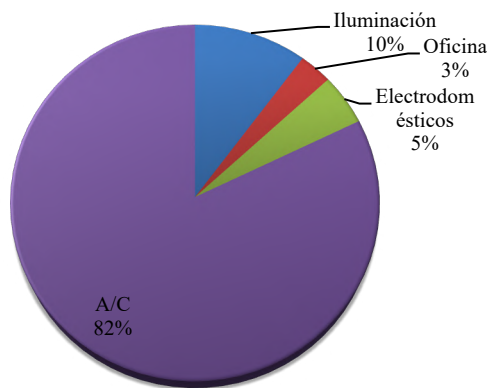


Figura 4. Porcentaje registrado de potencia instalada por tipo de carga

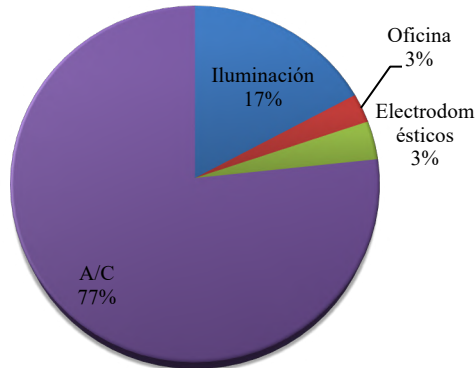


Figura 5. Porcentaje estimado de consumo de energía eléctrica por tipo de carga para mes de mayo

En estas figuras, figura 4 y 5, se aprecia que las cargas más importantes son el aire acondicionado y la iluminación, por lo que se pone especial énfasis en analizar estos dos tipos de cargas.

A. Diagnóstico del sistema de iluminación

El sistema de iluminación del edificio consta de mayormente lámparas fluorescentes de diferentes potencias, enseguida lámparas LED de diferentes potencias y por último lámparas de vapor de sodio. En total se cuenta con 136 elementos de iluminación dando un total de 6.8 kW instalados, cuyas potencias y energía eléctrica estimada se muestran en las siguientes figuras.

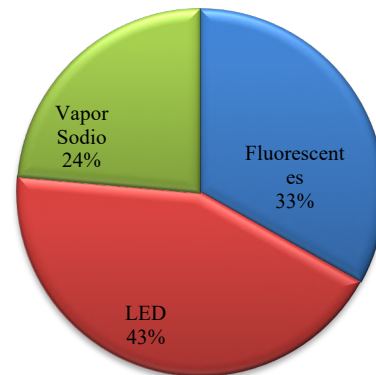


Figura 6. Porcentaje de potencia de iluminación instalada por tipo

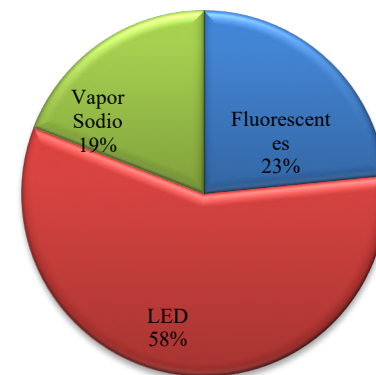


Figura 7. Estimación porcentual de energía eléctrica consumida por tipo de iluminación

Una revisión física de los niveles de iluminación a través de luxómetro y de la potencia eléctrica instalada, permite ver que el cambio de lámparas fluorescentes a tecnología LED es factible, ya que se puede ahorrar alrededor del 35% en el consumo de energía sobre este tipo de lámparas siendo que la potencia instalada en lámparas fluorescentes es de 2.25kW, además que los niveles de iluminación serían más adecuados. En términos generales del consumo energético, la iluminación representa el 17% del consumo total de la energía, por lo que reducir un 35% en iluminación significa en términos generales un 6% de ahorro en el consumo de energía de toda la instalación.

Finalmente se menciona que las áreas de oficinas y algunos espacios de actividades artísticas cuentan con buena iluminación exterior, por lo que pueden establecerse metas de reducción de consumos de energía eléctrica basada en el uso racional al apagar aquellas lámparas donde existe buena iluminación exterior.

B. Diagnóstico del sistema de aire acondicionado

El sistema de aire acondicionado del Gimnasio-

Auditorio del I.T.Laguna consta de 55 Ton de refrigeración (TR) a través de dos unidades centrales de 25TR que tienen tres etapas de acuerdo a la demanda de enfriamiento del área de las canchas y 4TR repartidos en tres minisplit para el área de oficinas. La primera etapa de una unidad central demanda 5.4 kWh de potencia eléctrica, mientras que la segunda etapa demanda 14.7 kW de potencia eléctrica y la tercera etapa es a potencia total de 23 kW.

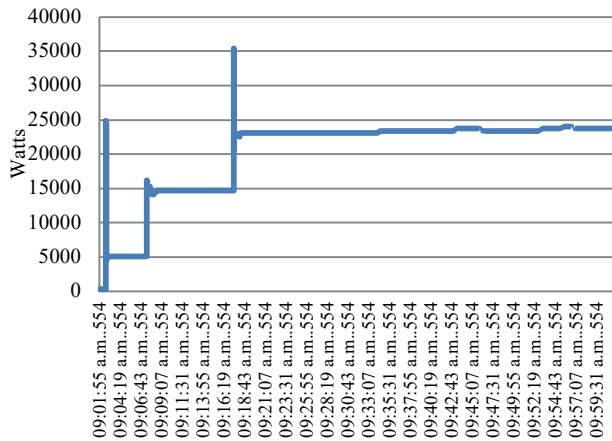


Figura 8. Demanda de potencia por etapa de una unidad central de refrigeración de 25 TR

El funcionamiento del equipo de las unidades centralizadas de aire acondicionado está en función de la temperatura detectada al interior del gimnasio en el área de las canchas. Dicha temperatura interior puede cambiar debido a dos factores principales: 1) a la ocupación que tenga en el momento y tiempo de duración, y 2) a la temperatura cálida del medioambiente.

Las siguientes figuras muestran diferentes escenarios de uso del Auditorio-Gimnasio, estando los factores de temperatura medioambiental como principal factor y la ocupación en segundo lugar.

En las figs 9 y 10 se muestran los grupos de barras en las potencias de 5kW, 15 kW y 23 kW. El caso mostrado en la figura 9 es de un día en la mañana con temperatura promedio de 26°C y la cantidad de tiempo de duración del registro es de 4 horas. De acuerdo a la estadística mostrada, la unidad central de A/C funciona principalmente en etapa 1 y etapa 2, donde la potencia de enfriamiento es al 50%; se aprecia muy pocas ocasiones trabajando en la etapa 3, que es un indicativo que la temperatura al interior se mantiene adecuada con media potencia. El caso mostrado en la figura 10 es de un día soleado al mediodía con temperatura promedio de 35°C y la cantidad de tiempo de duración del registro es de 1 hora. La estadística mostrada indica que la unidad central de A/C trabaja mayormente en etapa 3, es decir, al 100%

la potencia de enfriamiento, y un menor número de veces en etapa 2 que es de media potencia de enfriamiento.

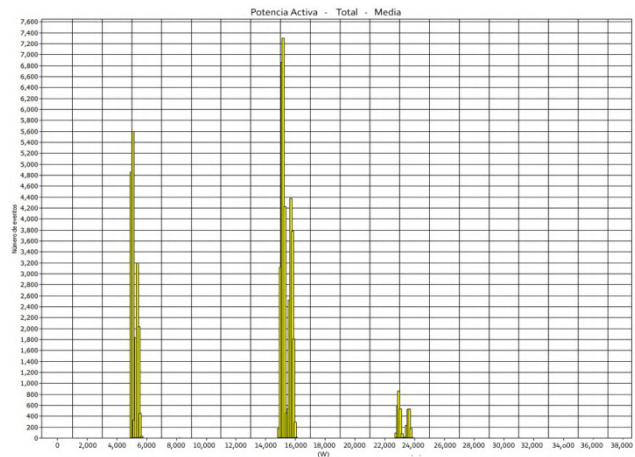


Figura 9. Estadística de demanda de energía eléctrica de una unidad central de A/C con baja demanda de refrigeración (tomadas del registrador)

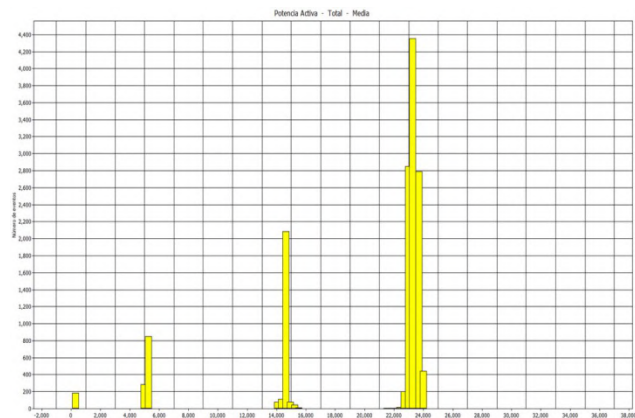


Figura 10. Estadística de demanda de energía eléctrica de una unidad central de A/C con alta demanda de refrigeración (tomadas del registrador).

Una revisión física de la edificación para detectar la pérdida del frío de la refrigeración permitió conocer los lugares por los que se escapa el frío, siendo estos los laterales de las gradas en los cuales hay un pasillo sin obstrucción para salida del aire, las dos puertas de lámina que se encuentran en la parte posterior del Gimnasio-Auditorio y la carencia de aislamiento térmico en la techumbre donde solo se tiene impermeabilizante en color blanco que ayuda a rechazar rayos de sol pero no aísla térmicamente. Debido a esto se considera que el impacto de la temperatura del medioambiente en la operación de los aires acondicionados es de suma importancia, por lo que es recomendable atender dichas fugas de energía.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados reportados en este trabajo permiten establecer la relación del consumo de energía eléctrica con el uso de los equipos eléctricos de mayor importancia en cuanto a la potencia que éstos demandan. El tipo de equipo de mayor importancia es el aire acondicionado con un 77% del consumo de energía eléctrica y de acuerdo al comportamiento de la temperatura medioambiental se observó que el consumo de energía eléctrica sigue dicho comportamiento. Los meses más calurosos del año inician desde abril-mayo, concluyendo en los meses de agosto-septiembre, y los consumos de energía eléctrica se incrementan durante esos meses, excepto en el mes de julio cuando es época vacacional.

Por otro lado, revisando el desempeño energético se observó que existe consumo de energía eléctrica en las madrugadas, y el perfil de comportamiento de los incrementos de energía aparenta el uso de aires acondicionados, por lo que se tiene la recomendación de revisar este derroche de energía eléctrica. Además, las fugas de aire acondicionado para las unidades centrales de 25 TR deben ser atendidas para que aumente la eficiencia de operación de estas grandes unidades de aire acondicionado.

El segundo tipo de equipo de mayor importancia fue la iluminación, en donde existe un potencial de ahorro con la sustitución de lámparas fluorescentes por las del tipo LED, las cuales están en las áreas de oficinas, pasillos y baños. El área de canchas del Gimnasio-Auditorio cuenta con lámparas LED que otorgan buen nivel de iluminación.

Finalmente como recomendaciones y trabajo a futuro se propone la instalación de sistemas temporizadores de alimentación eléctrica en los aires acondicionados para que éstos operen solamente en un horario de trabajo acorde al gimnasio y así se evita que los equipos permanezcan encendidos durante la noche. Por otro lado se recomienda instalar sensores móviles de temperatura al interior del gimnasio para registrar y evaluar la necesidad de aislantes térmicos en techo, paredes o instalar sombras en las puertas metálicas. Por último, durante la ejecución de las mediciones se llegó a visualizar que los aires acondicionados del área de la cancha permanecen encendidos por algunas horas a pesar de que no existen actividades deportivas, por lo que también se pueden implementar medidas para ahorrar energía eléctrica cuidando estos derroches energéticos.

V. REFERENCIAS

- [1] Web CONUE, <https://www.conuee.gob.mx/apf/>, Disposiciones administrativas de carácter general en materia de eficiencia energética en la APF, [consultado Feb 2020].
- [2] CIBSE Guide-F (2012), *Energy efficiency in buildings*, The Chartered Institution of Building Services Engineers, London.

- [3] Boemi, S.N., Irulegi, O., Santamouris, M., (2016) *Energy Performance of Buildings Energy Efficiency and Built Environment in Temperate Climates*, Springer.
- [4] NMX-J-SAA-50001-ANCE-IMNC-2011, *Sistemas de gestión de la energía – Requisitos con orientación para su uso*, NORMA MEXICANA IMNC – ANCE, Diciembre 2011.
- [5] NOM-020-ENER-2011, *Eficiencia energética en edificaciones.- Envoltante de edificios para uso habitacional*, NORMA Oficial Mexicana, Agosto 2011.
- [6] Shapiro, I.M., (2016), *Energy Audits and Improvements for Commercial Buildings*, Wiley
- [7] Thumann, A., Younger, W.J. (2008), *Handbook of energy audits*, CRC Press, 7th Edition.
- [8] *IEEE Standard Practice for Energy Management in Industrial and Commercial Facilities*, IEEE Standard 739-1995, 1995.
- [9] Nelson, V (2011), *Introduction to Renewable Energy*, CRC Press.

VI. BIOGRAFÍA

Sellschopp Sánchez, Francisco Sergio. Nació en Cd. Victoria, Tamaulipas el 26 de Agosto de 1972. Egresado de la carrera de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de Tepic en 1994 en la ciudad de Tepic, Nayarit, México.

Obtuvo el grado de M.C. en Ingeniería Eléctrica en 1999 en el Instituto Tecnológico de La Laguna y en 2003, el grado de Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en el mismo instituto en la ciudad de Torreón, Coahuila, México. Actualmente forma parte de la planta académica del posgrado de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón, Coahuila. Sus áreas de investigación son máquinas y redes eléctricas, calidad y uso eficiente de la energía e integración de fuentes renovables a redes eléctricas.

El Dr. Sellschopp es reconocido como perfil deseable PRODEP.



De La Fuente Guerrero, Juan Manuel. Nació en Matamoros, Coahuila el 18 de Febrero de 1973. Egresado de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de La Laguna en 1998 en la Cd de Torreón, Coahuila, México.

Actualmente es docente de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico de la Laguna abordando temas de manejo de estadísticas, procesos de fabricación, sistemas de manufactura, medición y mejoramiento de la productividad, higiene y seguridad industrial.

Mercado Mora, Noel. Nació en Torreón, Coahuila el 30 de Marzo de 1994. Estudiante de X semestre de la carrera de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de La Laguna en la Cd de Torreón, Coahuila, México.

Actualmente es se encuentra realizando su residencia profesional sobre consumos de energía eléctrica en instalaciones del I.T. de La Laguna.

