

## Capítulo IV. Ahorro de energía mediante la implementación de viviendas inteligentes

Carlos Manuel García Lara

### Resumen

A nivel mundial, la energía eléctrica es el motor de progreso en muchas comunidades. La mejora de las condiciones de vida o de bienestar han exigido siempre disponer de un excedente de energía, pero el origen de su generación con hidrocarburos obliga hacer un uso racional de ella, para alcanzar la sustentabilidad, una manera de hacerlo es desarrollando sistemas de ahorro de energía. La Comisión Nacional de Ahorro de Energía estima que en México se tiene un potencial de ahorro de energía superior al 20%, lo que significa una economía de 100,000 millones de pesos al año.

En la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, se desarrolló un prototipo automatizado que permitirá este ahorro en las aulas. Este sistema se basa en la detección de las condiciones ambientales como temperatura e iluminación, así como de la presencia de personas, combinando estos parámetros permitió el control en el consumo de energía, debido a la supervisión en iluminación y ventilación de los salones, lo anterior se traduce en ahorro de energía considerable en la escuela. Estos parámetros se estudian utilizando equipos de la marca Vernier y sistemas electrónicos desarrollados por estudiantes y docentes. El sistema pretende mejorar el nivel

de habitabilidad y confort de las aulas, y su consecuente reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

## Introducción

La dependencia de combustibles fósiles para generar parte de la energía eléctrica que consumimos en la vida diaria, repercute directamente en el medio ambiente, lo que ha ocasionado fenómenos como el efecto invernadero y el cambio climático por el aumento de la retención de calor y, por consecuencia, la temperatura global del planeta. El uso eficiente de ésta puede ocasionar beneficios de hasta 40% en la reducción de su consumo, además de beneficios intangibles como salud, seguridad y confort, lo que a su vez ocasiona incremento en la productividad y mejoras tecnológicas <sup>[1]</sup>.

A mayor desarrollo de la sociedad, más energía consume, y no siempre de un modo eficiente. Con un uso responsable y eficaz se puede disponer de mayores prestaciones de servicios y confort sin consumir más energía. Lo que nos hace menos vulnerables ante posibles crisis de suministro <sup>[2]</sup>. Sin embargo, en los países en desarrollo, aunque el consumo de energía por persona es mucho menor que en los desarrollados, la eficiencia en el uso de ésta no mejora. Sucede esto, entre otros motivos, porque muchas veces las tecnologías que utilizan son anticuadas.

El aumento en el uso de calefacción, aire acondicionado, iluminación y tecnologías de información están convirtiendo a los edificios en grandes consumidores de energía. Estos sistemas superan con creces a otras aplicaciones en cuanto a consumo de electricidad. De hecho, el consumo de electricidad es responsable de hasta un 50% de las emisiones de CO<sub>2</sub> atribuibles a los edificios comerciales y residenciales.

Tras firmar el protocolo de Kioto, los países industrializados acordaron reducir sus emisiones de CO<sub>2</sub> en un 5.2% en 2012 y en un 75% en 2050. Los edificios constituyen hoy en día una fuente fundamental de ahorro energético potencial que puede ayudarnos a cumplir objetivos y proteger el medio ambiente <sup>[3]</sup>.

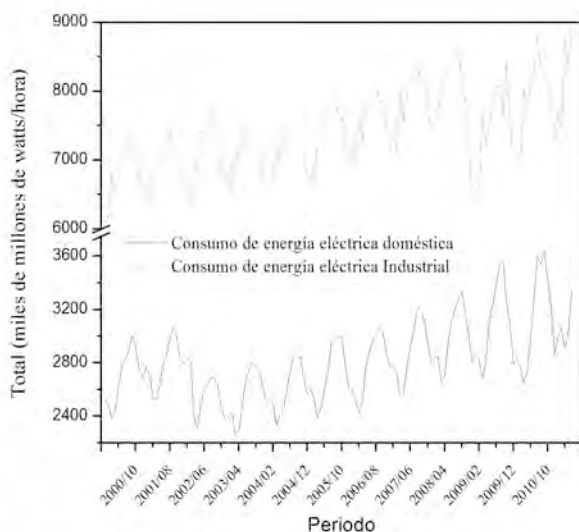


Figura 1. Consumo de energía eléctrica nacional por sectores.

En México, la demanda de energía eléctrica ha crecido de forma constante durante la última década (Figura 1). Estudios presentan que en los próximos diez años habrá un incremento en el consumo de hasta 4.8% al año, llegando a 304.7 TWh en 2015 [4]. Para el año 2030, se estima que la generación alcanzará los 505 TWh, con un 59% de electricidad generada con gas, 19% con carbón, 10% con petróleo, 7% hidroeléctrica y 3% a partir de energías nuevas y renovables. El porcentaje de energía nuclear bajará del 5% en 2002 al 2% en 2030 [5].

El mayor incremento en la demanda se producirá en el Nordeste, Baja California y en la Península de Yucatán debido al incremento en actividades de fabricación e industria. Esta tasa de crecimiento considera un aumento del 5.5% en las ventas destinadas al servicio público, así como un incremento del 2.2% para el autoabastecimiento. De lo anterior, se espera que el sector industrial sea el que muestre el mayor incremento en su consumo (6% anual) con respecto a los sectores residencial, comercial y de servicios (5% anual) [6]. En la Figura 2 se muestra cual ha sido el crecimiento en el consumo de energía eléctrica en la última década por sectores en el estado de Chiapas [7].

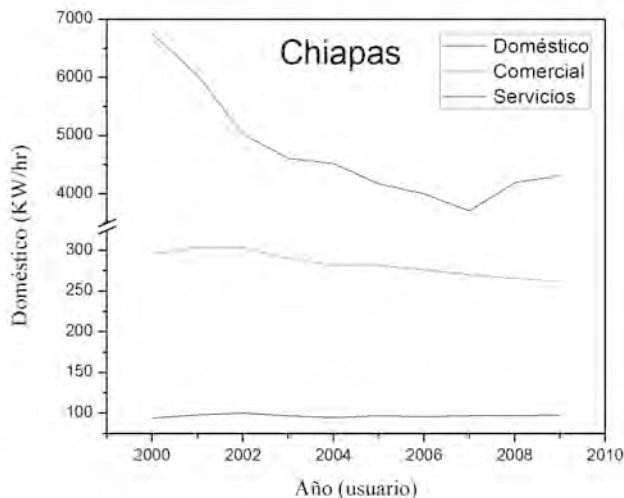


Figura 2. Consumo de energía eléctrica en el estado de Chiapas por sectores.

En el sector residencial, el consumo de energía está conformado principalmente por aparatos electrodomésticos, estufas, calentadores de agua, acondicionamiento de aire e iluminación, este último representa una tercera parte del consumo de energía en los hogares y, por ende, de lo que se paga en el recibo por consumo de electricidad.

En las escuelas el consumo de energía se da principalmente por sistemas de ventilación e iluminación, además de equipo utilizado para las prácticas docentes. Debido a esto es necesario el uso de tecnologías que permiten la optimización de los recursos energéticos en los hogares y edificios, mediante el uso de ventanas y muros con aislamiento térmico, aparatos eficientes de aire acondicionado, sistemas inteligentes de ahorro de energía, iluminación y ventilación natural apropiados, uso de energías renovables, etc.

Los sistemas automatizados tienen como fin usar la capacidad de las máquinas para llevar a cabo determinadas tareas anteriormente efectuadas por seres humanos, y para controlar la secuencia de las operaciones sin intervención humana [8]. Ampliando su campo de aplicación

continuamente, pasando a formar parte en áreas económicas, sociales y culturales. Lo que lleva a estas a orientarse hacia la formación y preparación de los sectores que esperan recibir estos sistemas pero de igual manera de quienes deben propiciarlas, de forma tal de incorporarlas, y a través de su manejo eficiente, contribuir a elevar la calidad de vida del ser humano [9].

## Domótica e inmótica

El concepto de edificio inteligente surge en Estados Unidos a finales de la década de los setenta y principio de los ochenta, cuando al desarrollo de las telecomunicaciones se le añade una época donde se produce una elevada actividad en la construcción de edificios de oficinas. Al desarrollo de esta nueva rama de las telecomunicaciones contribuyeron de forma importante: [10]

- Introducción del primer sistema para la gestión de edificios al comienzo de los setenta, que proporcionaba la integración y la monitorización de los sistemas de ventilación, calefacción y aire acondicionado.
- Necesidad de redes de datos para aunar el volumen de cableado que invadían las oficinas, debido a la incorporación de los ordenadores y los equipos de comunicaciones. Crisis energética a mediados de los setenta, que obligó a buscar soluciones para ahorrar energía.

El sector de la construcción, actualmente está incrementando el uso de elementos tecnológicos en las edificaciones, debido a factores como seguridad, economía, comunicación y confort. Esta incorporación ha llevado a empresas relacionadas con la informática y las telecomunicaciones a desarrollar una industria relacionada con las aplicaciones y los elementos que se pueden agregar en un edificio, dotándolo, se podría decir, de inteligencia. A la hora de definir este nuevo sector se pueden distinguir dos nuevos conceptos: domótica e inmótica, el primero destinado a la automatización de las viviendas y el segundo adecuado para el resto de edificaciones. Esta división no está adoptada de manera generalizada

y el término domótica es el más popular y el más extendido, empleándose el concepto de sistemas domóticos referidos también al sector terciario o incluso el término de domótica de grandes edificios <sup>[1]</sup>.

Existen múltiples definiciones de domótica, elaboradas por los distintos expertos del tema pero en la gran mayoría se destaca la idea de mejorar la calidad de vida de los usuarios de estos sistemas <sup>[2]</sup>. De forma más rigurosa se puede definir a la domótica como la ciencia de los elementos y servicios desarrollados por ella que proporcionan algún nivel de automatización o automatismo de forma integrada dentro de una casa, capaz de satisfacer las necesidades básicas de seguridad, comunicación, gestión energética y confort, del hombre y de su entorno más cercano. Etimológicamente, la palabra domótica fue acuñada en Francia y procede de la unión de domus (casa en latín) y robotique (robótica) <sup>[1]</sup>.

Por otro lado por inmótica se entiende a la incorporación de sistemas que proporcionan algún nivel de automatización dentro del equipamiento de las edificaciones del sector terciario, como son hospitales, edificios de oficinas, grandes superficies, parques tecnológicos, etc. De forma óptima e integrada proporciona a los distintos controles y automatismos que se incluyen en el edificio, comunicación, control, monitorización, gestión y mantenimiento de los mismos, es decir, la integración total de elementos y servicios del mismo en un sistema de automatización, cuyo objetivo principal es ayudar o facilitar al gestor del edificio a mejorar la calidad de servicio a sus ocupantes, permitiendo el control y supervisión de personal, controlando las instalaciones técnicas, optimizando los recursos y obteniendo grandes ahorros de energía.

También surge el concepto de Building Management System (BMS) para hacer referencia al nuevo tipo de instalaciones integradas en las grandes edificaciones <sup>[1]</sup>. Además de estos conceptos, existen otras alternativas como edificio sostenible, bioconstrucción, ambiente inteligente, gestión técnica de edificios, urbótica, entre otros, que no quedan bien definidas y la frontera entre unas y otras no es del todo clara.

El proyecto de automatización de un edificio debe buscar soluciones que resuelvan las funcionalidades especificadas por el usuario además de encontrarse acorde con las nuevas tecnologías en el área de la automatización. Se debe diseñar un sistema que cumpla con requerimien-

tos de bajo costo de instalación, costos de reconfiguración reducidos, fácil crecimiento y costos de entrenamiento y mantenimiento reducidos. Debe brindar comodidad, seguridad y la reducción de costos en las diversas áreas que conforman el edificio.

La realidad latinoamericana es diferente en este sentido. Solo algunos países como Argentina, Brasil y México han avanzado en el estudio y sobre todo la implementación de la domótica al diseño de sus edificaciones. Sin embargo, Latinoamérica por su situación económica y socio-cultural debería ser un buen ejemplo de la problemática que la domótica ayudaría a disminuir <sup>[9]</sup>. Algunos de los edificios considerados inteligentes en México son: el World Trade Center, Hospital General Regional No. 1 *Gabriel Mancera*, Edificio Cenit plaza Arquímedes, la Torre Mayor, entre otros.

## Características y beneficios del edificio inteligente

Las características que debe cumplir un buen sistema inmótico son la integración, propiedad fundamental de un edificio inteligente. Es lo que diferencia un edificio inteligente de un edificio automatizado. En una instalación automatizada, los diversos autómatas actúan de forma aislada. Al integrar el conjunto de sensores, controles, actuadores, el edificio es capaz de detectar lo que ocurre en su interior y en su alrededor y actuar en consecuencia. La flexibilidad, ya que el sistema debe ser capaz de adaptarse con facilidad a la incorporación de nuevos subsistemas en su arquitectura.

Resulta fundamental que tras una inversión inicial que puede resultar importante, se pueda actualizar de forma rápida y cómoda el sistema con tecnologías futuras. La fiabilidad, ya que el número de funciones que controla el sistema será elevado por lo que es necesario reducir los errores al mínimo para que las consecuencias ocasionadas sean irrelevantes. Manejo sencillo, debido a que el sistema será controlado por más de un empleado y, generalmente, será personal no especializado. Por ello, es necesario que el funcionamiento que permite controlar el sistema sea de fácil uso y rápida comprensión a la hora de aprender a usarlo.

Los costes asociados a la implementación de un sistema inmótico en un edificio pueden parecer, a priori, elevados. Sin embargo, los benefi-

cios que aporta suponen una buena inversión. Además, el desarrollo de las tecnologías y las telecomunicaciones provocan que estos sistemas sean cada día más económicos. Por lo que los beneficios que se obtienen son la reducción en el consumo de energía, debido a que el edificio inteligente controla de forma óptima el uso de la energía, provocando un ahorro económico considerable. Además, contribuye a proteger el medio ambiente. Aumenta el confort, un edificio inteligente proporciona a los ocupantes del mismo un ambiente más confortable, lo que provoca mejores condiciones de trabajo y favorece la producción de los empleados. Aumenta la seguridad, una de las áreas a la que más importancia da un sistema inmótico es la seguridad. Generalmente el edificio contará con un equipamiento caro y con información que deberán ser protegidos ante intrusiones y alarmas técnicas (inundaciones, incendios, etc.). El edificio deberá incluir un sistema que proteja los recursos de forma óptima. Gestión remota, disponiendo de un acceso a Internet, desde cualquier rincón del mundo se puede controlar y variar cualquier parámetro del sistema. Buena impresión, la introducción de tecnología en edificios de oficinas provoca buena imagen ante los clientes.

Además de estos beneficios, propios de la instalación de un sistema inteligente en un edificio y que afectan principalmente al usuario final, se puede considerar que esta nueva industria permite a distintos sectores obtener nuevas oportunidades de negocio y aumentar sus beneficios. Estos sectores son:

Relacionados con el mundo de la construcción. Para promotores, arquitectos y constructores, la inmótica supone un valor añadido a la hora de participar en el competitivo mundo inmobiliario. Por otro lado, los instaladores encuentran una nueva oportunidad de mercado, no sólo en la instalación sino también en el mantenimiento del sistema.

Relacionados con el mundo de la electrónica. Los fabricantes de productos aumentan su área de mercado al diseñar y desarrollar los dispositivos que se van a utilizar en el hogar y la oficina, destacando los fabricantes de electrónica de consumo (música, televisores, etc.) y los de electrodomésticos (lavadoras, frigoríficos, etc.). Además pueden aparecer fabricantes dedicados en exclusiva a los sistemas domóticos (pasarelas, sensores, etc.).



Relacionados con el mundo de las telecomunicaciones. Con la introducción de la domótica/inmótica, los proveedores de servicios ven aumentadas las posibilidades de aplicaciones y servicios que pueden ofrecer. Además, esta incorporación se traduce en un aumento en las ventas de accesos de banda ancha y así los operadores de telecomunicaciones aprovechan en mayor medida la costosa infraestructura que poseen.

Por último, destacar que toda esta actividad económica generada alrededor de los edificios inteligentes supone también un beneficio para el estado y la administración pública. Además, se produce un ahorro energético de forma global y la posibilidad de abrir nuevas vías de investigación y desarrollo.

## Niveles de inteligencia de un edificio

El instituto Cerdá, es una fundación privada, que se dedica a asesorar a diversas empresas para el diseño y construcción de edificios inteligentes, han intentado definir los posibles niveles de inteligencia que se pueden encontrar en un edificio, donde el calificativo inteligente asociado, en términos técnicos, a un equipo o sistema, implica la existencia de al menos una unidad de proceso y, un edificio será tecnológicamente inteligente si incorpora en su propia estructura unidades de proceso interconectadas por medio de un sistema abierto de cableado y equipos de comunicaciones.

Las características tecnológicas de un edificio se pueden separar en dos grupos:

- Servicios de automatización del edificio.
- Servicios basados en tecnologías de la información.

Estos grupos se pueden separar a su vez en varios niveles:

Servicios de automatización del edificio

### Nivel A0

Pocas instalaciones técnicas automatizadas.

Se lleva a cabo la supervisión de cierto número de puntos; no existe control.

No existe ningún tipo de integración entre los sistemas técnicos.

### Nivel A1

Existen sistemas de control centralizado de las instalaciones del edificio.

Poca o nula integración (sistemas de control funcionando independientemente).

### Nivel A2

Todas las instalaciones están controladas centralmente totalmente integradas.

Servicios basados en tecnologías de la información

### Nivel I1

Existen servicios de automatización de la actividad y de telecomunicaciones sin que estén integrados.

### Nivel I2

Existen servicios integrados a distintos niveles: cableado, funcionamiento coordinado de los distintos equipos, un entorno Red Digital de Servicios Integrados (RDSI).

Tomando las combinaciones más significativas de estos niveles (A0, A1 o A2 con I1 o I2), se obtienen los distintos grados de inteligencia de un edificio [13]. A continuación en la Figura 3, se muestra una matriz con los distintos grados de inteligencia de un edificio.

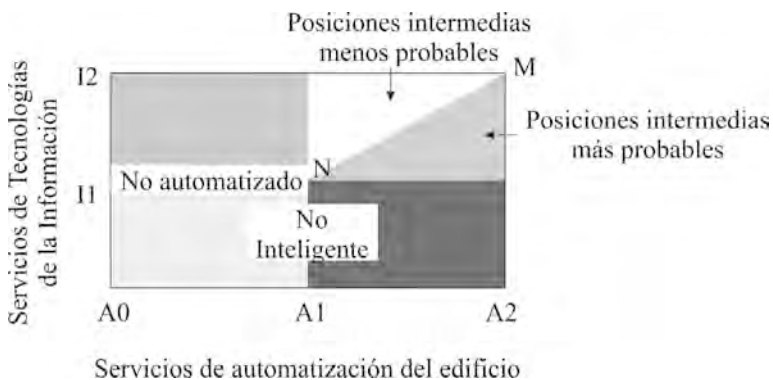


Figura 3. Niveles de inteligencia de un edificio inteligente.

Los puntos N y M representan los grados de mínima y máxima inteligencia respectivamente y las áreas sombreadas indican los grados intermedios.

## Sectores relacionados

Existen distintos sectores de la sociedad que se ven afectados de forma más o menos directa con la introducción de la inmótica en la vida diaria. Aunque el principal protagonista es el usuario, ya que es el que va a determinar la evolución del sector, los agentes que también intervienen son <sup>[14]</sup>:

**Promotor**, es un actor primordial ya que dispone el suelo sobre el que va a construirse, y delimita las características básicas del nuevo edificio. El promotor deberá conocer las nuevas demandas del comprador para ir incorporándolas a las nuevas construcciones.

**Arquitecto**. Se encarga del diseño del edificio de espacios asegurando el funcionamiento y el cumplimiento de los requerimientos del cliente y deberá determinar las instalaciones de servicios avanzados.

**Constructor**. Pone en práctica el proyecto del arquitecto, coordinando al colectivo de especialistas que deben instalar las infraestructuras tecnológicas del nuevo edificio. **Inmobiliaria**. Posee contacto directo con el usuario. Tendrá que transmitirle al comprador el valor de los nuevos servicios que incorpora el inmueble.

**Instalador**. Es el encargado de montar los dispositivos al usuario. Es primordial que conozca las nuevas tendencias y sea cada vez más especializado.

**Fabricante de material electrónico**. Su contribución es esencial para que la incorporación de los nuevos servicios a la vida cotidiana sea una realidad.

**Proveedor de servicios**. Ofrecen a los usuarios los servicios y las aplicaciones.

Además, la industria emergente provoca la aparición de nuevos elementos en la actividad empresarial como pueden ser las consultoras de sistemas inteligentes o los integradores de soluciones domóticas.

## Normativa para edificios inteligentes

Las nuevas normativas requieren ahora unas medidas de reducción del consumo y equipos que favorezcan el ahorro energético. El protocolo de Kioto instó a los gobiernos de todo el mundo a aprobar una legislación que garantizara un uso más inteligente de la energía en los edificios.

La Unión Europea por ejemplo, estableció un firme compromiso en marzo de 2007 para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 20% en 2020. Como parte del paquete de medidas conocido como 3x20 en 2020, la reducción supondrá un aumento del 20% de la eficiencia energética y un cambio en la mezcla de energía de la Unión Europea (UE) al incluir un 20% de energía renovable <sup>[3]</sup>.

Otros países han adoptado un plazo de tiempo algo mayor y unos objetivos más ambiciosos como conseguir una reducción del 50% de las emisiones de CO<sub>2</sub> en 2050. Para alcanzar estos objetivos se requerirá un cambio importante e intensificar esfuerzos para legislar, regular y establecer normas que aumenten la eficiencia energética. Algunas leyes como la ley sobre política energética de Estados Unidos (EU) y la directiva sobre energía de la UE establecieron las reglas para el futuro de esta.

En el sector público y privado la norma EN15232 de la UE calcula el impacto que ejercen los sistemas de automatismos de los edificios en la reducción activa del consumo energético y establecen el ahorro potencial en calefacción y electricidad según el tipo de edificio.

Otra medida es la de aplicar certificados blancos los cuales se conceden por aplicar las medidas de eficiencia energética. Algunos gobiernos exigen a las compañías relacionadas con energía demostrar la ayuda prestada a sus clientes para alcanzar un nivel de ahorro energético concreto. En México, la CFE ha presentado dos estrategias en este sentido, la primera orientada a reemplazar focos incandescentes por lámparas ahorradoras, la segunda cambiando equipos de refrigeración poco eficientes por otros de mejor rendimiento.

El contexto normativo legal ofrecerá las pautas que se deben seguir con base a los requerimientos impuestos a través de los diferentes institutos y organizaciones que establecen guías, normas y leyes; las cuales

se deben seguir para cumplir con los requerimientos que estos imponen, brindando un camino claro para los diferentes escenarios que se pisaran durante el desarrollo de la investigación.

Una más es el sistema de calibración de edificios ecológicos (LEED), desarrollado por el consejo de edificios ecológicos de EU (USGBC). El cual presenta una serie de normas para la construcción y renovación de edificios ecológicamente sostenibles. Desde su creación en 1998, LEED ha ido creciendo hasta integrar a más de 30 países en la actualidad.

En México, el Instituto Mexicano del Edificio Inteligente (IMEI), establece que un edificio inteligente debe cumplir con cinco puntos en igualdad de importancia:

- Máxima economía, para la eficiencia en el uso de energéticos.
- Máxima flexibilidad, para una mayor adaptabilidad a un bajo costo a los continuos cambios tecnológicos requeridos por sus ocupantes y su entorno.
- Máxima seguridad, que tenga la capacidad de proveer un entorno ecológico interior y exterior; entorno al usuario respectivamente habitable y sustentable, altamente seguro y patrimonio que maximice la eficiencia en el trabajo a los niveles óptimos de confort de sus ocupantes.
- Máxima automatización, eficazmente comunicativa en su operación y mantenimiento de las actividades que se realicen.
- Máxima predicción y optimización, operación y mantenimiento bajo estrictos métodos de la actividad.

La norma ISO 6385, abarca los principios ergonómicos de la concepción de sistemas de trabajo. Esto es de vital importancia porque en ella se abarcan los factores humanos, tecnológicos y organizacionales que afectan el comportamiento en el trabajo y al bienestar de los hombres como parte del sistema de trabajo.

Ofrece una orientación básica en principios ergonómicos para proyectar los sistemas de trabajo. Esta puede ser aplicada en todo tipo de organizaciones y de trabajos, ya sean realizados en fábricas, hoteles o en oficinas; en grandes y pequeños establecimientos comerciales o institucionales.

El IMEI, también menciona un apartado para seguridad donde se hace mención a dos documentos, para establecer una guía para estos sistemas <sup>[15]</sup>, aprobados por el American National Standards Institute (ANSI), los cuales son:

- a. NFPA730, Guías para la seguridad en instalaciones, proporciona criterios para la selección de un programa de seguridad para reducir vulnerabilidades. Prevé consideraciones especiales para la protección de sus ocupantes en virtud de la importancia que tienen las personas sobre los sistemas de seguridad.
- b. NFPA731, Estándar para la instalación de sistemas de seguridad electrónicos en lugares donde se desarrollan actividades. Es un estándar de instalación que establece los requisitos mínimos para el uso, instalación, funcionamiento, pruebas y el mantenimiento de sistemas de seguridad físicos y sus componentes.

### Ejemplo de aplicación: Caso UNICACH

En la Universidad de Ciencias y Artes de Chipas (UNICACH), específicamente en ciudad universitaria, se realizó un estimado del consumo de energía eléctrica con base a los equipos con que se cuenta en las diferentes escuelas que la integran, de un total de 16 edificios, obteniéndose los datos que se presentan en la Tabla 1.

De la Tabla 1, se puede observar que la mayor demanda de energía se debe principalmente al empleo de aire acondicionado, seguido de la iluminación y ventilación, de las aulas considerados como los principales factores que determinan el consumo final de energía eléctrica.

Tabla I. Consumo de energía eléctrica en ciudad universitaria.

Edificio Equipo	Porcentaje de consumo de electricidad en cada edificio															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Iluminación	18.1	12.3	10.0	22.2	19.2	25.0	6.7	8.0	10.0	13.3	12.1	27.4	9.1	21.3	58.1	8.7
Aire acondicionado	66.2	51.8	73.8	46.1	58.7	48.7	87.5	90.7	75.0	77.4	70.5	51.9	72.7	59.1	-	71.8
Ventiladores	8.7	3.9	12.8	3.8	-	-	-	-	2.4	3.1	2.9	14.1	4.0	9.1	25.6	1.6
Computadoras	2.8	27.6	-	23.8	15.0	13.7	1.4	0.9	5.9	3.0	7.1	-	11.8	4.7	-	17.1
Impresoras	0.8	1.1	0.9	1.0	4.8	6.2	2.4	0.2	4.0	1.2	4.8	-	1.0	1.1	-	0.6
Proyectores	3.4	3.0	2.3	2.8	2.0	6.2	1.7	-	2.5	1.6	3.0	6.4	1.0	4.5	16.1	-
Total																
de gasto aproximado en KW/h	34.58	52.49	60.52	28.32	39.87	29.00	68.09	54.25	63.34	48.50	52.47	21.82	54.90	26.47	11.14	68.55

La propuesta de este trabajo fue establecer sistemas que permitan ahorrar y hacer un uso eficiente de esta energía, para minimizar costos, al reducir el pago de la facturación eléctrica, preservar nuestros recursos naturales y de nuestro planeta, lo que implica menos deforestación y disminución en el consumo de combustibles fósiles utilizados para generar energía eléctrica y la consecuente reducción de emisiones contaminantes al medio ambiente.

Cabe mencionar que ahorrar energía no significa dejar de utilizar los equipos, ni estar en penumbras, ni apagar el aire acondicionado, si el clima es extremo; sino más bien hacer un uso racional de los mismos. La comisión nacional de ahorro de energía (CONAE) estima que en México se tiene un potencial de ahorro de energía superior al 20%, lo que significa una economía de 100 mil millones de pesos al año <sup>[6]</sup>.

### *Sistema automático de iluminación*

En la actualidad se producen desperdicios sustanciales de energía eléctrica en CU, lo cual se ve reflejado en la facturación realizada por tal servicio; por lo cual se desea implementar un sistema que permita reducir el uso innecesario de energía en las diversas áreas de los edificios de CU, durante el tiempo en que ninguna persona se encuentra en las instalaciones, con el propósito de obtener una significativa reducción en los costos por energía eléctrica destinada a iluminación, además de contar con un nivel adecuado de luz en cada sector de la infraestructura dependiendo de su funcionalidad. Para el caso de iluminación, la Figura 4, presenta una curva típica obtenida en un lapso de muestreo de un día.



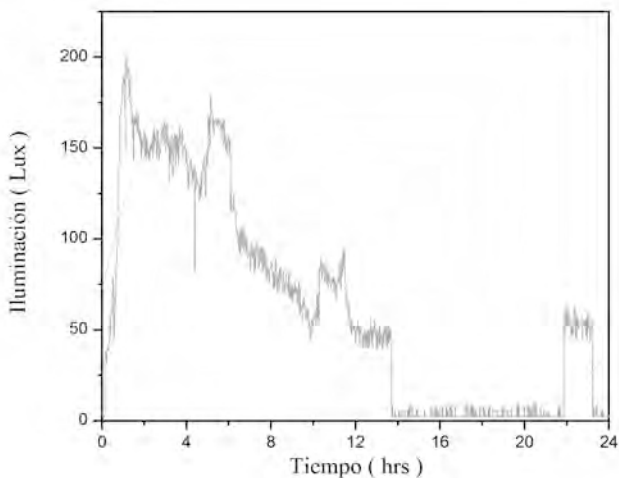


Figura 4. Curva de iluminación obtenida en un día en el aula seleccionada.

En la Figura 4 se observa que a pesar de haber una intensidad de luz aceptable para iluminar un aula, superior a 100 lux válido para interiores [17], existen variaciones de ésta, que indica que se activó el sistema de iluminación del aula, lo cual no debió suceder, ya que es un gasto de energía, mientras que a valores inferiores, que se considerarían suficientes para un espacio pequeño, para condiciones de lectura se requiere de mayor iluminación por lo que se considera aceptable la activación de las luminarias.

Se requiere por lo tanto un sistema que permita controlar el nivel de iluminación proporcionado por las luminarias en función del nivel de luz natural, a partir del estado de ocupación de cada una de las áreas durante un día, a cualquier hora y que todos los parámetros de operación puedan visualizarse y monitorearse constantemente. Cabe señalar que la utilización y aplicación de tecnologías de vanguardia en lo que se refiere a lámparas ahorradoras de energía, luminarias eficaces y dispositivos de control eléctrico, así como la correcta utilización de la luz natural para obtener la administración de energía en el sistema de iluminación y crear en el inmueble un ambiente agradable, sería lo recomendable, pero dadas las condiciones de infraestructura ya establecidas en la UNICACH, sería conveniente en un trabajo a futuro abordar de manera integral este concepto.

Además de lo anterior, al diseñar un sistema de iluminación para un edificio bajo el concepto de ahorro de energía se debe considerar el costo inicial contra el costo de operación más el costo de mantenimiento, teniendo en cuenta que el costo inicial, incluye el costo del equipo, colocación e instalación contra el costo de operación producido por el consumo de energía eléctrica y el costo de mantenimiento donde incide principalmente la vida útil de la fuente de iluminación. Por lo que el objetivo fue diseñar un sistema de automatización que permitiera mejorar las condiciones de confort, seguridad y ahorro energético para un edificio utilizado para la enseñanza.

### *Sistema automático de temperatura*

El confort térmico es un concepto subjetivo que expresa el bienestar físico y psicológico del individuo cuando las condiciones de temperatura, humedad y movimiento del aire son favorables a la actividad que se desarrolla.

Se sabe que la mayoría de la gente se siente confortable cuando la temperatura oscila entre 21°C y 26°C, y la humedad relativa entre 30% y 70%. Estos valores se aplican cuando las personas están vestidas con ropa ligera, a la sombra y relativamente inactivas [18].

Tuxtla Gutiérrez se localiza en las coordenadas 16°38' y 16°51' de latitud norte; y en las coordenadas 93°02' y 94°15' de longitud oeste, a 536 MSNM. El clima existente en la ciudad es en promedio cálido subhúmedo con lluvias en el verano, con un 65% de humedad relativa en promedio el 2011. La temperatura media anual es de 25.4°C. La temporada cálida dura desde mediados de febrero hasta septiembre. El período más caluroso del año es desde abril hasta la segunda semana de mayo. La temporada fresca dura desde mediados de noviembre hasta inicios de febrero. El período más frío del año es el mes de diciembre cuando la temperatura puede llegar a descender hasta 12°C.

Existen diferentes técnicas para mejorar la temperatura en áreas específicas como ubicación de árboles y arbustos para proporcionar sombra y enfriamiento por evaporación, superficies exteriores con colores claros o adoquines calados que favorecen mayor disponibilidad

de áreas verdes y contribuyen a una reducción adicional de energía, lo anterior serían condiciones aprovechables en un futuro para mejorar el ahorro de energía. Para este trabajo se desarrolló un sistema de control que permitiera el manejo de los sistemas de ventilación ya existentes.

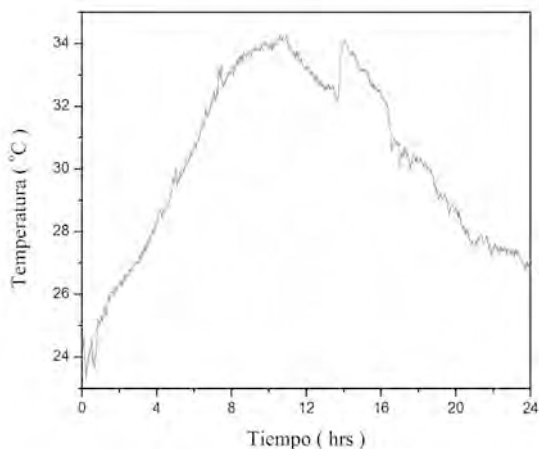


Figura 5. Curva de temperatura obtenida en un día en el aula seleccionada.

La Figura 5, presenta la curva típica de temperatura en un día promedio. Se observa en los círculos una caída de temperatura considerable la cual fue debida a la activación del sistema de ventilación del aula. El propósito del sistema de ahorro de energía fue evitar acciones de ventilación en ocasiones en donde la temperatura fuese aceptable, para el caso de la curva presentada ambas caídas se observan a temperaturas superiores a 30°C, por lo que se consideró viable. Sin embargo hay ocasiones en las que a pesar de haber valores de temperatura alrededor de 26 y 27°C se activó el sistema de ventilación, por lo que no debe ser admitido ya que es un gasto de energía innecesario.

### *Arreglo experimental*

Teniendo datos sobre la demanda de energía eléctrica en ciudad universitaria de la UNICACH, se desarrolló e implementó un dispositivo

electrónico que permitiera controlar el gasto en un aula de la universidad, la Figura 6, presenta el diagrama esquemático del sistema de control de ventilación propuesto.

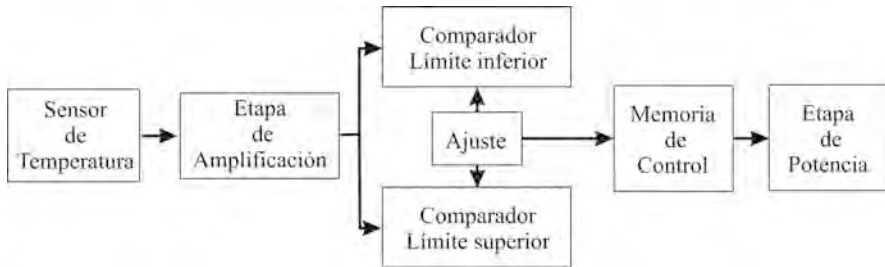


Figura 6. Diagrama esquemático del sistema automático de ventilación propuesto.

El sistema de control de ventilación se diseñó a partir de un sensor de temperatura LM35, el cual abarca un rango de temperatura que va desde  $-55^{\circ}\text{C}$  hasta  $150^{\circ}\text{C}$ , además de proporcionar  $10\text{ mV}$  por cada grado centígrado medido, pero debido a que este voltaje es muy pequeño, se requirió de una etapa de amplificación para ser acoplado con las otras etapas, esta fue basada en un amplificador no inversor, el cual permite una ganancia  $G$  de voltaje a la salida determinado según la siguiente ecuación:

$$G = 1 + \frac{Rr}{RE} \quad (1)$$

Donde  $Rr$  es una resistencia de referencia y  $RE$  es una resistencia de entrada, ambas definidas en Ohms, para este caso en particular se definió una ganancia de 11, la cual se logró utilizando una resistencia de referencia de  $10\text{ k}$  y una de entrada de  $1\text{ k}$ , con este valor de ganancia es posible ahora acoplar la señal a las otras etapas del sistema.

Las etapas de comparación son utilizadas para determinar los límites de referencia de temperatura máxima y mínima de trabajo, los cuales pueden ser ajustados mediante una etapa para este propósito.

La etapa de memoria de control es utilizada para controlar el encendido y apagado del ventilador, lo que hace es memorizar el valor de

referencia mínima y máxima y activar o desactivar el ventilador únicamente hasta que se superen ambas referencias en orden ascendente o descendente respectivamente, lo cual es importante para evitar trabajar con rangos pequeños o grandes en diferencias de temperatura.

Por último el sistema consta de una etapa de potencia, la cual servirá para aislar la etapa de baja potencia con la requerida por el ventilador, que utiliza el voltaje de línea de corriente alterna.

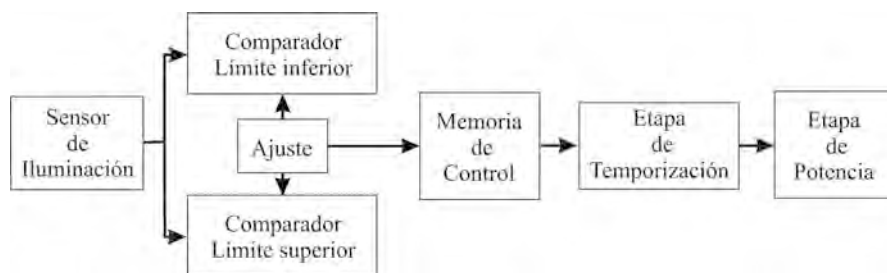


Figura 7. Diagrama esquemático del sistema automático de iluminación propuesto.

Para el caso de la iluminación se utilizó un sistema similar, Figura 7, aunque este no requirió de una etapa de amplificación, éste utiliza un sensor de luz (LDR), el cual presenta un nivel bajo de resistencia ante la presencia de luz, y, un elevado nivel de resistencia ante la ausencia de luz, el problema en este tipo de sistemas son las variaciones excesivas de iluminación durante el día lo cual hace necesario utilizar un sistema que evite estas transiciones, por lo que se diseñó una etapa de temporización, que espera un tiempo determinado, antes de activar a la etapa de potencia, lo anterior se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

$$T = 1.1 CR \quad (2)$$

Donde  $C$  representa el valor del capacitor,  $R$  es el valor de la resistencia, ambos forman un circuito  $RC$ . Esta sección evita que el balastro de las lámparas no se dañe debido a las oscilaciones de encendido y apagado por efecto de las variaciones de iluminación naturales.

Un dispositivo agregado al sistema de control de iluminación y ventilación, fue el empleo de detectores de presencia que también favorece el ahorro, ya que activa o desactiva servicios impidiendo que se haga un consumo indiscriminado de energía eléctrica. Las funciones de mayor importancia que podrá desempeñar el sistema son: apagado automático de fuentes de luz.

Estos sensores usan dos tipos de tecnología para detectar la presencia de personal en un área. La primera es por medio de detectores ultrasónicos y la segunda con detectores infrarrojos activos o pasivos. Ambas tecnologías operan en forma similar, ya que al detectar actividad en el área que controlan varían una señal de bajo voltaje que activa los sistemas de iluminación y ventilación cuando los ocupantes entran y permanecen en el espacio, lo anterior siempre y cuando las condiciones de iluminación y temperatura así lo requieran.

Los sistemas son desactivados después que el espacio es desocupado dentro de un periodo de tiempo predeterminado y ajustado [19]. En la Figura 8, se presenta una imagen del sistema de control realizado, presentando las piezas utilizadas así como su disposición física.

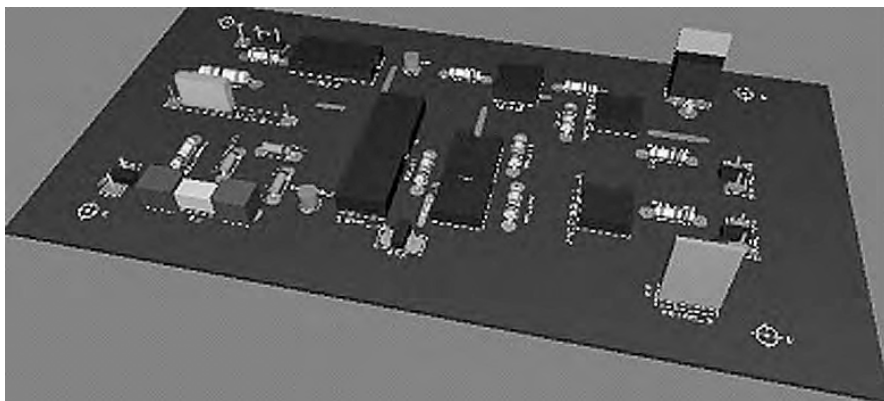


Figura 8. Sistema de ahorro de energía implementado.

Cabe señalar que ningún sistema de ahorro es funcional por si solo sino se observan buenas prácticas como apagar la iluminación en las áreas donde se tenga suficiente aportación de luz natural, así como en

áreas exteriores, realizar una buena limpieza en las lámparas que se encuentren sucias, lo que mejorará el nivel de iluminación, mantener limpias las aspas del sistema de ventilación, así como una revisión periódica y mantenimiento de las instalaciones. Además de concientizar a la población sobre el desperdicio de energía y sus afectaciones económicas y ambientales.

En trabajo a futuro se pretende mejorar el sistema mediante el uso de herramientas como Arduino, la cual es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. Creada para artistas, diseñadores, aficionados y cualquiera interesado en crear entornos u objetos interactivos; puede adquirir información del entorno a través de sus terminales de entrada de toda una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores, sin embargo este sistema a pesar de que cuenta con tecnología Ethernet, el manejo de tecnología Xbee de la compañía MaxStream, permite agregar conectividad inalámbrica al sistema.

Los módulos Xbee proveen dos formas amigables de comunicación: Transmisión serial transparente (modo AT) y el modo API que provee muchas ventajas. Estos pueden ser configurados desde una PC utilizando el software apropiado o bien desde un microcontrolador, tecnología de la cual se basa Arduino. Los Xbee pueden comunicarse en arquitecturas punto a punto, punto a multipunto o en una red mesh.

La elección del módulo XBee correcto pasa por escoger el tipo de antena (chip, alambre o conector SMA) y la potencia de transmisión (2 mW para 100 m o 60 mW para hasta 1.6 km). Estos sistemas pueden ser acoplados al sistema desarrollado en este trabajo de tal forma que no se requiera de grandes modificaciones para su interconexión, lo que permite minimizar costos por expansión.

## Comentarios finales

Derivado de los datos obtenidos se observó un desperdicio de energía eléctrica en salones de clases a pesar de estar en condiciones excelentes para laborar y que al utilizar los dispositivos descritos se logró el

ahorro de energía, esto tendrá un efecto positivo en la facturación por energía eléctrica en ciudad universitaria, tomando en cuenta que podría hacerse de manera macro e implementarse en todas las áreas de la universidad, además de que el costo es bajo (relativo) para implementar los dispositivos concluyendo en beneficio evidente y logrando optimizar el uso de la energía.

Los edificios inteligentes presentan una gran capacidad de adaptación de forma autónoma a los cambios ambientales mediante el empleo de sofisticadas tecnologías. No obstante, existen también edificaciones que gracias sus características intrínsecas (orientación, configuración, disposición de aberturas, tratamiento de fachadas, etc.) logran un excelente comportamiento bioclimático a menores costos, menor consumo energético y menor dependencia tecnológica.

Es necesario realizar un estudio de los alcances del sistema propuesto, así como la mejora constante del mismo hasta lograr un dispositivo integral que permita disminuir el consumo de energía eléctrica y concientizar a la población sobre los beneficios de esto.

## Referencias

1. Srinivas, S., 2009. *Green buildings, benefits and impacts*. Proceedings of international conference on energy and environment, ISSN: 2070-3740.
2. Instituto para la diversificación y ahorro de la energía, 2010. *Guía práctica de la energía. Consumo eficiente y responsable*. IDAE, Madrid, España.
3. Schneider electric, 2010. *Soluciones de eficiencia energética para edificios*. Barcelona, España.
4. De Buen-Rodríguez, O. D., 2007. Energy efficiency and conservation in Mexico, En revista *Environmental Science and Engineering*, Pág. 65-74.
5. Rodrigo, J. C., 2004. *Perspectiva de la calidad de la Energía eléctrica y su importancia en México*. Asociación de normalización y certificación, A.C.
6. Secretaria de Energía (SENER), 2009. *Energía renovable en México y la Política Energética*. México. Pág. 18-23.



7. Comisión Federal de Electricidad, 2011. *Estadística de ventas, Histórico Chiapas*.
8. Waldo, B., 2006. *Instituto Mexicano del Edificio Inteligente*.
9. Arciniegas, L. M., 2005. *Criterios tecnológicos para el diseño de edificios inteligentes*. Telematique, Vol. 4, No 2, pp. 27-43.
10. Quintero, J. M., Lamas, J. y Sandoval, J. D., 2003. *Domótica: sistemas de control para viviendas y edificios*. Paraninfo Madrid, España.
11. APEC, 2006. *APEC Energy Supply and Demand Outlook*.
12. Ángel, P., 1993. *Domótica y espacios cotidianos*. Secretaría de cultura y tecnología, Argentina.
13. Instituto Cerdá, 1989. *Área de telecomunicaciones, edificios y áreas inteligentes, Definición de un concepto inteligente*. 1ª edición, Barcelona, España.
14. Coomonte, R. *Jornada sobre hogar digital*. Foro UPM Universidad-Empresa de encuentro, oportunidades y alternativas tecnológicas, 2005.
15. NFPA 730: 2011. *Guide for Premises Security*. Edition, Softbound, 87 pp.
16. Secretaria de Energía (SENER), 2009. *Energía renovable en México y la Política Energética*. México. Pp. 18-23.
17. NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo.
18. Sosa, M. E., 2004. *Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes*. IDEC, primera edición, Caracas, Venezuela.
19. LEVITON, 2008. *Guía de selección de productos de control para la iluminación*.

