

## CAPÍTULO 3. CRITERIOS DE SUSTENTABILIDAD EN EL USO DE ENERGÍA

La creación de un bajo consumo energético en el diseño de un edificio sustentable de alto rendimiento (*HPGB* o *high-performance green building*) es uno de los retos más importantes para el equipo de proyecto. De acuerdo a la revista CNN Expansión, “en México, el 40% del consumo de energía del país corresponde al sector relacionado con los edificios” (Calvo, 2008).

Los costos de consumo energético en un edificio a lo largo de su vida útil están en función del diseño de los sistemas eléctricos. Uno de los objetivos de un *HPGB* es lograr una disminución considerable en los costos operativos comparados con los de un edificio tradicional.

“El mundo empieza a enfrentar el famoso punto de quiebre en la producción de petróleo, en el cual la tasa de extracción decrece notablemente, demandando una cantidad mayor de energía y de fuentes de inversión para seguir explotando los yacimientos restantes, lo cual resultará en un aumento en el precio del petróleo debido a que la producción no podrá satisfacer las crecientes demandas. Con esto, los costos por consumo de energía empezarán a incrementarse drásticamente como resultado del aumento en la demanda internacional” (Australian Energy News, 2001). Por tal motivo, actualmente, las economías mundiales están en busca de fuentes de energía renovables que les permitan independizarse de los combustibles fósiles.

Este cambio implica empezar a tomar decisiones inteligentes y conscientes con respecto a la forma en que vivimos y construimos, lo cual significa no solo un compromiso para disminuir, en un cierto porcentaje, la cantidad de energía que utilizamos, sino, un cambio total en la forma en que concebimos el diseño de un edificio. Empezando por el hecho de que un edificio debe ser autosuficiente energéticamente, o en su mejor caso, exportador de energía. Esto se logrará mediante la aplicación de nuevas y mejoradas tecnologías en el uso de energías renovables, sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (*HVAC* o *Heating,*

*Ventilating and Air Conditioning*), aprovechamiento de las condiciones del sitio, y otras más que permitan a los edificios generar tanta energía como la que consumen, o al menos disminuir en gran medida sus cargas por consumo energético.

Un edificio sustentable debe de tener un consumo energético bajo, usando energías renovables como fuente principal de energía para los sistemas HVAC, que son los sistemas que consumen más energía eléctrica en el edificio.

Los edificios sustentables están experimentando un gran progreso como resultado de las nuevas tecnologías que empiezan a cambiar la manera en que tradicionalmente eran concebidos los edificios. (Figura 3.1). El uso de estas tecnologías lleva, en el caso de los sistemas HVAC, a una reducción en el tamaño de la planta de energía, y por ende, en los costos del edificio, generando un resultado perfecto, dado que tanto los costos de operación como los del proyecto pueden ser más bajos que aquellos de un edificio tradicional. El análisis de costos del ciclo de vida del edificio será un elemento clave que dará a los diseñadores la libertad creativa de optimizar el consumo energético de un edificio.



Figura 3.1 Diseño de la remodelación de la Casa York (edificio de oficinas). Fuente: Sitio web *Sheppard Robson Architects*

La firma londinense Sheppard Robson ha diseñado la remodelación de la Casa York. Este edificio, innovador arquitectónicamente, a través de un efecto de arcoíris cambiante a lo largo del día en la fachada, se ha colocado como uno de los mejores *HPGB* de acuerdo al estándar británico BREEAM por su excelente rendimiento energético. La fachada dispuesta en capas ayuda a controlar la temperatura creando una capa de amortiguamiento entre el ambiente exterior e interior del edificio. Además, el aire atrapado entre ambas capas es recolectado para producir energía.

### 3.1 Estrategias para un Diseño de Alto Rendimiento Energético

El diseño de alto rendimiento energético de un edificio es una tarea compleja compuesta por diferentes elementos, los cuales constituyen un proceso iterativo e integral, más que una simple secuencia de cosas por hacer. Dicho proceso empezará con el diseño pasivo, para pasar después a la reducción de cargas y diseño de los sistemas eléctricos que constituyen el edificio, desde sistemas HVAC, de iluminación, hasta controladores digitales, así como la aplicación de energías renovables y sistemas de ahorro de energía.

Algunos de los aspectos más importantes a considerar dentro de éste diseño son los siguientes:

- Utilizar software de simulación (*p.e.* DOE 2.2<sup>1</sup>, E-Quest<sup>2</sup>, Energy-10<sup>3</sup>) como una herramienta que permita a los diseñadores tener una idea más clara y gráfica del comportamiento energético del edificio, para así minimizar el consumo de energía.
- Optimizar el diseño pasivo del edificio.
- Maximizar el performance térmico de la envolvente.
- Minimizar las cargas internas del edificio.
- Diseñar un sistema eficiente HVAC que minimice el uso de energía.
- Incorporar el uso de energía renovable tanto como sea posible.
- Capturar la energía perdida por medio de sistemas combinados de calor y potencia, cogeneración, ventilación y recuperación de energía eólica, entre otros.
- Incorporar nuevas tecnologías donde sea apropiado, por ejemplo, enfriamiento por radiación y sistemas geotérmicos (*ground-coupling*<sup>4</sup>).

Durante el proceso iterativo antes mencionado, será necesario hacer ajustes con base en el presupuesto y requerimientos del cliente. Es de resaltar, que un diseño energético bien realizado, tendrá como resultado una importante disminución en los costos operativos con un mínimo o nulo aumento en el costo total del proyecto.

---

<sup>1</sup> DOE 2.2 es la versión del 2009 del DOE, un programa de simulación energética del edificio y de cálculo de costos de los sistemas eléctricos, desarrollado por primera vez por el USGBC en el 2001.

<sup>2</sup> E-Quest es un software desarrollado por el USGBC que combina las funciones del DOE 2.2 con asistentes de diseño y esquemas gráficos.

<sup>3</sup> Energy-10 es una herramienta de diseño que analiza, compara e ilustra los ahorros económicos y energéticos que se pueden alcanzar entre diferentes alternativas de diseño.

<sup>4</sup> Un sistema *ground-coupling* representa una estrategia de enfriamiento y calefacción que utiliza las propiedades geotérmicas del suelo para ambas tareas.

En algunos casos, este diseño puede también disminuir las cargas de los sistemas HVAC, y por lo tanto, reducir los costos del equipo.

### 3.2 Diseño Pasivo

El primer paso para comenzar el diseño de los sistemas energéticos de un edificio es el diseño pasivo. El diseño pasivo se refiere al diseño de los sistemas HVAC pasivos del edificio, basándose en el aprovechamiento de las condiciones de sitio como la luz de día, el viento, la vegetación, y otros recursos naturales. (Figura 3.2) El diseño pasivo incluye el uso de todas las medidas posibles para reducir el consumo de energía, antes de considerar alguna fuente de energía externa que no sea el sol o el viento. Un edificio cuyo aspecto pasivo ha sido bien diseñado es aquel que aún estando apagados los sistemas HVAC es razonablemente funcional debido al buen aprovechamiento de la luz de día y un adecuado sistema de enfriamiento, ventilación y calefacción pasivo.

El diseño pasivo tiene dos aspectos importantes, el primero es el uso de las condiciones del sitio para reducir el perfil energético del edificio, y el segundo, el diseño arquitectónico del edificio (orientación, relación de aspecto<sup>5</sup>, volumen, ubicación de ventanas y áreas abiertas, trayectoria del viento, entre otros).



Figura 3.2 "Hipercentro Verde" Milán, Italia. El uso de elementos de diseño pasivo, la ventilación natural, y la incorporación de espacios públicos fueron aspectos clave en el diseño de éste edificio de oficinas realizado por la firma de arquitectos Hosoya Schaefer. Fuente: Sitio web *Hosoya Schaefer Architects*

---

<sup>5</sup> Relación de aspecto (*AR* o *Aspect Ratio*), es una variable que se calcula al dividir la longitud de un edificio entre su ancho. El cual es un indicador de la forma general del edificio. Por ejemplo, un AR de 1 implica que este edificio cuadrado va a tener la mínima área superficial comparada con su volumen.

El diseño pasivo involucra un gran número de variables a analizar cómo: condiciones geográficas del lugar (latitud, altitud), climáticas (incidencia solar, variaciones de temperatura, patrones de humedad, dirección y fuerza del viento), presencia de árboles y vegetación, y presencia de otros edificios.

Algunos de los factores que se deben de incluir en el desarrollo de una estrategia de diseño pasivo son:

- **Clima local:** El análisis de la relación entre los ángulos de incidencia del sol, tiempo de exposición, velocidad y dirección del viento, temperatura del aire y humedad a lo largo del año será de vital importancia para aprovechar el sol y el viento en procesos de calefacción, ventilación y enfriamiento pasivo. De esta manera se disminuirán las cargas a los sistemas HVAC eléctricos.
- **Condiciones del sitio:** Al igual que el clima, el terreno, la vegetación, las condiciones del suelo, los mantos freáticos, el microclima, y la presencia de otros edificios cercanos, son elementos cuyo aprovechamiento y conservación darán un valor agregado a nuestro edificio además de proveer a los ocupantes de un ambiente más saludable y confortable.
- **Relación de aspecto del edificio:** Es la relación de la longitud del edificio entre su ancho. Este factor es muy importante en climas fríos, donde se desea tener una menor superficie de propagación del calor, por lo cual se buscará una relación cercana a 1. En cambio, en climas cálidos se busca aumentar esta relación con el fin de maximizar la superficie antes mencionada y de esta manera lograr que el calor se disipe rápidamente dentro del edificio.
- **Orientación del edificio:** Se recomienda orientar el eje de mayor longitud en dirección este-oeste lo cual minimizará las cargas solares directas y permitirá tener un mejor arreglo de ventanas y un mayor aprovechamiento de la luz solar. En las zonas que estarán más expuestas al sol (norte-sur) se requerirá que las ventanas cumplan con características de recubrimiento especiales.
- **Cuerpo del edificio:** La capacidad de almacenamiento térmico de los materiales de construcción (en el techo, muros y pisos) es un elemento que integra el rendimiento térmico del edificio. Otros elementos importantes serán el color, el cual juega un papel importante en la masa térmica del edificio, las ventanas y los espacios abiertos que permitirán la entrada de luz y calor.
- **Uso del edificio:** El conocer el perfil de uso del edificio así como las horas de operación es un aspecto que nos ayudará a limitar las cargas térmicas y por ende los requerimientos energéticos durante los días y horas de operación.

- Incidencia de luz solar: El diseño y colocación de ventanas en el edificio al igual que los dispositivos de iluminación natural (plataformas de luz, domos y persianas exteriores e interiores, entre otros) permitirán la entrada de una mayor cantidad de luz de día al edificio manteniendo el confort de los ocupantes.
- Envolvente del edificio: La geometría, aislamiento, diseño y colocación de ventanas, puertas, entradas de aire, ventilación, sombra, masa térmica y color, son elementos que conforman la envolvente del edificio los cuales tendrán que ser estudiados para lograr una sinergia entre ellos y de esta manera obtener un mejor performance en el diseño pasivo.
- Cargas internas: Estas cargas son aquellas variables que influirán en la temperatura interna del edificio como son: las personas, la iluminación, el equipo eléctrico y otros elementos. En función de estas cargas se realizará el diseño de los sistemas HVAC y de ventilación, enfriamiento y calefacción pasivos del edificio. Entre mayor sea la contribución del diseño pasivo para disminuir las cargas internas, menor serán los costos operativos por concepto de consumo energético y de adquisición de los sistemas externos.
- Ventilación: Fenómenos como el efecto venturi<sup>6</sup>, ventilación cruzada<sup>7</sup> y de chimenea<sup>8</sup> dentro del edificio nos darán la oportunidad de aprovechar el potencial natural del viento para efectos de ventilación pasiva.

Como cualquier otro concepto, el diseño pasivo puede ser aplicado deficientemente y no dar los resultados óptimos. De aquí que gran parte de su éxito dependa del correcto análisis e integración de las variables anteriormente enlistadas que dependerán de las características y demandas de cada proyecto.

El diseño pasivo disminuirá las cargas internas del edificio a través de una buena estrategia de iluminación natural que tendrá el doble beneficio al disminuir el consumo de energía para iluminación y reducir las cargas de enfriamiento producidas por los dispositivos de iluminación.

---

<sup>6</sup> El efecto Venturi es aquel que se da cuando el movimiento del aire es inducido por el desarrollo de un área de baja presión creada por el flujo del viento.

<sup>7</sup> La ventilación cruzada es un concepto utilizado por la Arquitectura bioclimática, para definir un modo de ventilación de los edificios. Para esto y dependiendo de cada sitio y de la hora del día hay vientos característicos que generan zonas de alta presión a sotavento y baja presión a barlovento. Esto implica favorecer una ventilación que de estar abiertas las ventanas y puertas interiores de los locales barra de forma lo más homogénea posible todos los locales de un edificio o vivienda.

<sup>8</sup> El efecto chimenea es a través del cual el aire se eleva normalmente debido a su calentamiento, induciendo el flujo del aire en una dirección vertical.

### 3.3 Reducción y Control de Cargas Internas

La reducción de cargas internas constituye una estrategia a través de la cual se busca disminuir las cargas en las conexiones eléctricas del edificio. Equipos tales como computadoras, copiadoras, cafeteras, impresoras, y demás equipos periféricos son una fuente muy importante de consumo energético y de generación de calor dentro del edificio. Algunas de los puntos clave a analizar en el proceso de reducción de cargas internas en las conexiones eléctricas se explicarán a continuación.

- Reducción de cargas. Ésta estrategia implica un estudio de cargas eléctricas futuras del edificio para lograr un buen balance, tanto eléctrico como térmico que permita obtener un alto rendimiento energético. El uso de equipos y dispositivos ahorradores de energía es una opción muy adecuada para reducir el consumo energético y disminuir los costos de operación dentro de este marco. Por otra parte, un análisis del ciclo de vida de estos equipos nos dará una visión más clara de la viabilidad económica en materia de adquisición o renovación en términos del ahorro anual versus su costo anualizado.
- Control de cargas. El control de cargas en las conexiones eléctricas es un factor clave para la disminución del consumo de energía. Algunos equipos tales como servidores principales, sistemas de seguridad y algunas conexiones satelitales necesitan estar encendidos 24 horas al día, 7 días a la semana; en estos casos es muy conveniente que el equipo tenga un alto rendimiento energético. El control de cargas fantasma, (cargas debidas al consumo de energía cuando el equipo no está en funcionamiento) es una estrategia importante para la reducción del consumo de energía del edificio. Hay equipo cuyos ciclos de funcionamiento son muy variables, como el caso del microondas, el cual gasta mucho más energía a lo largo del día por el simple hecho de estar conectado más que por el tiempo neto de uso. El uso de sensores de movimiento que apaguen el monitor, las lámparas de escritorio y otros dispositivos periféricos no esenciales cuando dejamos el escritorio es también una forma de disminuir el consumo de energía. La práctica de apagar el sistema eléctrico de los aparatos no vitales una vez que el edificio este vacío es una de las mejores medidas que permitirán disminuir las cargas fantasmas internas. Se recomienda llevar este control mediante un sistema de control de energía (*EMS o Energy Management System*) del cual se hablará más adelante.

### 3.4 Sistemas Mecánicos

Después de que el diseño pasivo del edificio sea optimizado y la estrategia de reducción de cargas internas disminuida, se procederá al diseño de los sistemas mecánicos HVAC del edificio. El sistema HVAC en un edificio estará en función del tamaño del edificio, las condiciones climáticas, y el perfil de cargas del edificio. Su función principal es proporcionar una corriente de aire, calefacción, y enfriamiento adecuado a cada cuarto con base en las cargas internas calculadas.

Un sistema HVAC común en edificios tiene dos partes, la primera de aire que proporcionará aire acondicionado dentro de los cuartos, y la segunda de agua que proporciona agua caliente y fría para usarse en el sistema, así que se debe de buscar equipo con la más alta eficiencia posible para estos trabajos. El equipo que integra a un sistema HVAC incluye: enfriadores, componentes del sistema de aire acondicionado y sistemas de recuperación de energía.

#### 3.4.1 Enfriadores

Un enfriador de agua o *chiller* es una máquina de refrigeración cuya función principal es enfriar o calentar (en modo bomba de calor) un medio líquido. Existen cuatro tipos principales de enfriadores: centrífugos (1000 kW), de hélice (170 kW a 1360 kW), de desplazamiento (170 kW) y reciprocantes (510 kW).

La eficiencia de la planta de enfriamiento puede llegar a aumentar hasta en un 50 por ciento al combinar nuevas tecnologías como el control digital directo<sup>9</sup> (*DDC o Direct Digital Control*) y unidades de frecuencia variable con un diseño, implantación y operación mejorados.

El coeficiente que nos permite analizar el rendimiento de un equipo de enfriamiento es el coeficiente de rendimiento<sup>10</sup> (*COP o Coefficient Of Performance*) el cual es la relación entre la energía de enfriamiento producida por un enfriador con respecto a la energía eléctrica que

---

<sup>9</sup> Un sistema de control digital directo se utiliza, generalmente, para controlar los dispositivos HVAC tales como válvulas, a través de microprocesadores que realizan la lógica de control. Estos sistemas pueden ser acoplados con un paquete de software que, gráficamente, permite a los operadores seguir, controlar, alertar y diagnosticar el equipo de forma remota.

<sup>10</sup> Un COP de 3, por ejemplo, indica que el enfriador proporciona 3kWh de enfriamiento por 1kWh de energía entrante.

necesita para operar. En general los enfriadores de hélice y de desplazamiento con base en agua tienen los más altos COP de todos los tipos de enfriadores (COP=6), en comparación con aquellos con base en aire que tienen un COP de 2.5. Otro tipo de enfriadores son los de absorción cuyo COP es de 1, lo cual parecería inconveniente; sin embargo, utilizan el calor que de otra forma sería desperdiciado para proporcionar enfriamiento. Ahora bien, una estrategia que implique la combinación de dos tecnologías diferentes, un enfriador de hélice que dirija la energía calorífica que desprende hacia un enfriador por absorción que use ese calor para enfriar, aumentará el COP de todo el sistema.

### 3.4.2 Sistemas de distribución de aire

Otro de los sistemas que más consume energía en un edificio es el de aire acondicionado, integrado por controladores de aire, motores eléctricos, conductos, difusores de aire, registros y rejillas, intercambiadores de energía y humedad, cajas y sistema de control. En un buen diseño, el sistema de aire acondicionado tendrá la capacidad de proporcionar la demanda necesaria de aire de manera eficiente a través de diferentes condiciones operativas.

Algunas de las opciones de diseño para mejorar el rendimiento del sistema de aire acondicionado son:

- Sistemas de volumen de aire variable (**VAV**). Estos sistemas producen el volumen preciso de aire necesario dependiendo de las condiciones de carga actuales en un determinado espacio dentro del edificio.
- Difusores VAV. El uso de difusores VAV locales permite controlar de manera individual la temperatura en el edificio. Esto es muy útil dado que en diferentes zonas del edificio siempre existirán variaciones de temperatura debidas a la distribución no uniforme de las cargas internas, lo que implicará una variación de la demanda de aire de lugar a lugar independientemente que estén en la misma planta. Para satisfacer esta demanda se colocarán difusores en el techo de cada cuarto que modularán mediante *DDC* la cantidad de aire entrante en cada espacio, eliminando la ineficiente práctica de sobrecalentar o sobre enfriar ciertas zonas del edificio, y de esta manera, mejorar la sensación de confort entre los ocupantes.
- Diseño de conductos a baja presión. Para reducir la caída de presión en los ductos se debe de incrementar el diámetro de los mismos. Esto es debido a que al incrementar el tamaño del diámetro de los ductos, se permitirá una disminución en la velocidad de aire llevando a reducciones en la velocidad de ventilación que implicarán un ahorro de energía. Otro aspecto a considerar es el mejoramiento de la aerodinámica de las vías de flujo evitando vueltas muy cerradas en la línea de conducción.

- Dimensionamiento adecuado de ventiladores y motores de frecuencia variable. Los ventiladores deberán dimensionarse con base en el análisis de cargas internas dentro del edificio, lo cual eliminará el sobredimensionamiento de los equipos e incrementos en los costos de adquisición y operativos. El uso de motores de frecuencia variable controlados electrónicamente llevarán a la operación del sistema de ventilación en función de los cambios en las cargas internas dentro del edificio.
- Sistemas de ventilación por desplazamiento. En este sistema la inyección de aire se hace directamente en el área ocupada, a nivel de piso, a una temperatura poco menor que la del propio aire del cuarto (18-21°C), generando así el desplazamiento del aire más caliente hacia arriba (Figura 3.3). El aire caliente sube y el aire frío lo va desplazando, los principales contaminantes de menor densidad suben a la parte no ocupada, y estos son removidos por el retorno.



Figura 3.3 Sistema de aire acondicionado: ventilación por desplazamiento. Fuente: Sitio web Mundo HVAC

### 3.4.3 Sistemas de recuperación de energía

Los sistemas de recuperación de energía para ventilación (*ERS* o *Energy Recovery Systems*) recuperan la energía del aire de extracción para pre-acondicionar el aire fresco que se está inyectando en el área interior. Estos sistemas consisten básicamente en un intercambiador de calor aire / aire en el cual el aire fresco pasa por un pasaje y el aire de extracción pasa por otro. En el intercambiador de calor, el aire fresco se pre-acondiciona usando la energía del aire de extracción. La temperatura se transfiere por medio de conducción y la humedad se transfiere por medio de la diferencia de presión de vapor. De esta manera se disminuye el costo energético de la ventilación al disminuir la carga térmica del aire fresco.

El éxito de los sistemas de recuperación de energía, para el caso de los economizadores, depende de varios factores tales como:

- Tipo de estrategia de control. La ubicación y características del edificio van a determinar el tipo de economizador o *ERS*. La estrategia de control dependerá también del clima; para el caso de climas secos se recomienda un control de bulbo seco (que responde solo a la temperatura), sin embargo, en climas más húmedos se instalará un control de entalpía (el cual responde a la temperatura y a la humedad) (Figura 3.4). Estos sistemas miden mediante sensores térmicos las condiciones interiores y exteriores del edificio que van a influir directamente en la cantidad de energía eléctrica que necesitará el economizador para disminuir la carga térmica del aire fresco.



Figura 3.4 Sensor entálpico. Es un sensor combinado de temperatura y humedad para medir los factores de condición del aire, la temperatura, la humedad relativa, la humedad absoluta (llamada también contenido de agua), la temperatura del punto de rocío y la entalpía. Fuente: Sitio web *RTS Automation*

- Tipo y localización del sensor exterior. El funcionamiento óptimo de un economizador significa que puede medir correctamente la temperatura o entalpía exterior. Para lograr esto, el sensor debe ser exacto y deberá de ser instalado de tal forma que no esté expuesto directamente al sol o a corrientes de viento. Arreglo de los sensores. Para grandes sistemas HVAC, el uso de un solo sensor no es suficiente. Esto es debido a que el aire frío y caliente se estratificarán en los ductos y un solo sensor no reflejará la temperatura promedio del aire. La instalación de un arreglo de sensores térmicos proporcionará una lectura más precisa de la temperatura promedio del aire lo cual mejorará el rendimiento del sistema.
- Ubicación de la entrada de aire libre. Para aumentar el rendimiento de los economizadores, la entrada de aire libre deberá de ubicarse lejos de fuentes de escape de aire que provoquen que entre aire caliente o húmedo al edificio.
- Integración del economizador al sistema mecánico de enfriamiento. Un economizador que no trabaja de forma conjunta con el sistema de enfriamiento mecánico se le llama no integrado, lo que implica que no está funcionando óptimamente y por lo tanto no genera los beneficios que debería. Cuando las condiciones son secas o frías, el economizador proporciona todo el enfriamiento necesario, pero cuando las condiciones son más cálidas, el economizador trabaja a su mínimo dejándole toda la carga de enfriamiento al sistema mecánico. En el caso de un economizador integrado, puede usar el 100 por ciento del aire

exterior para enfriar tanto como sea posible y después complementar el rendimiento con el sistema de enfriamiento mecánico para hacer la diferencia.

### 3.5 Sistemas Solares de Calefacción de Agua

En instalaciones donde es necesario tener disponibilidad de agua caliente, el consumo de energía por este concepto representa una parte muy importante en los costos de operación el cual se podría disminuir mediante el uso de calentadores solares de agua.

El principio de funcionamiento de los sistemas solares de calefacción de agua es el mismo sin importar que de qué tipo de tecnología se esté hablando. La luz solar incide y calienta una superficie absorbente dentro de un colector solar o un tanque de almacenamiento. Un sistema de tubería transporta el agua potable que absorbe la energía calorífica del colector al que se encuentra unida la tubería. El agua caliente se almacena posteriormente en un tanque. Si se necesitará calefacción adicional, ésta se suministrará mediante sistemas convencionales de calefacción de agua con energía eléctrica o fósil. “Al reducir la cantidad de calor que debe de ser proporcionada por sistemas tradicionales, los sistemas solares de calefacción de agua sustituyen directamente la energía renovable usada para obtener energía convencional, reduciendo el uso de electricidad o combustibles fósiles hasta en un 80 por ciento” (Kilbert, 2009).

La Figura 3.5 muestra dos tipos de calentadores solares: (a) colector de placa plana que consiste en una caja herméticamente cerrada con una cubierta de vidrio transparente. En su interior se ubica una placa de absorción la cual está en contacto con unos tubos por los que circula el líquido que absorbe el calor. (b) Los colectores de tubo de vacío poseen un material absorbente sellado al vacío dentro del tubo para capturar la radiación del sol. Las pérdidas térmicas de estos sistemas son muy bajas incluso en climas fríos.



Figura 3.5 Tipos de calentadores solares. Colector de placa plana (izquierda) y colector de tubos de vacío (derecha). Fuente: Sitio web *Solar Heat Water, Heating and Cooling Systems*.

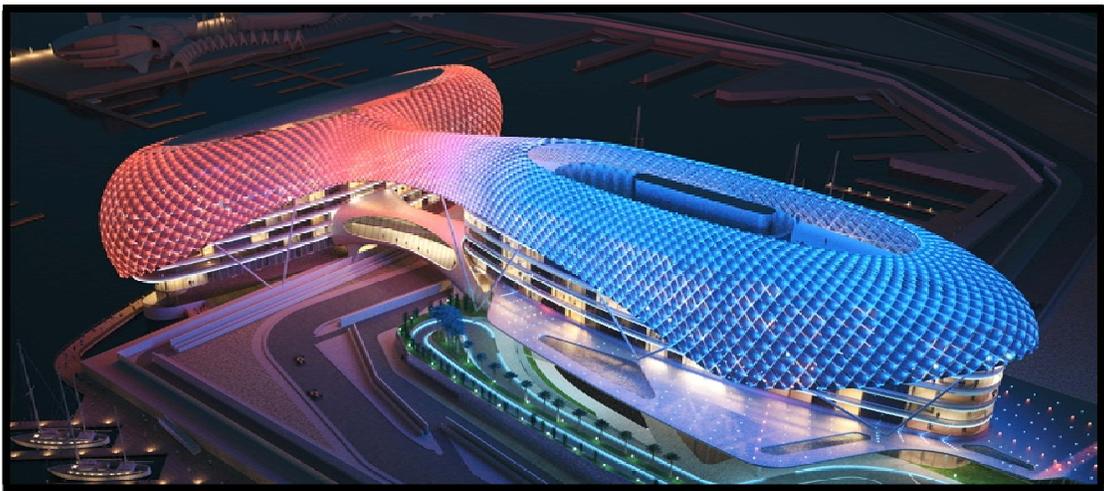
### 3.6 Sistemas Eléctricos y Motores

Además de los sistemas de aire acondicionado y de calefacción, el sistema de iluminación y los motores eléctricos son los mayores consumidores de energía eléctrica. Las innovaciones en tecnologías de iluminación tales como accesorios y sistemas de control han logrado que se pueda aumentar el rendimiento energético de un edificio. Dado que los motores eléctricos impulsan ventiladores, bombas, y otros dispositivos, utilizar los motores más eficientes energéticamente resultará en importantes ahorros de energía.

#### 3.6.1 Sistemas de iluminación

Debido a que los sistemas de iluminación demandan una gran cantidad de energía eléctrica, el objetivo a alcanzar será la reducción en la dependencia de la iluminación artificial maximizando el uso de luz de día. Lo cual significa que se debe de trabajar por lograr una estrategia integral, esto es, combinar ambos tipos de iluminación para suministrar iluminación de alta calidad y de bajo consumo energético en el edificio. Los tipos de iluminación que permiten un mayor rendimiento energético del edificio son:

- **Iluminación LED.** El uso de luz emitida por diodos (*LEDs o light-emitting diodes*) para los sistemas de iluminación en los edificios está creciendo rápidamente. Los *LEDs* están



basados en semiconductores que emiten luz cuando la corriente pasa a través de ellos, convirtiendo la electricidad en luz con una mínima generación de calor. Los colores

Figura 3.6 El "Yas Hotel", Abu Dhabi. Es el proyecto LED más grande del mundo. El sistema de iluminación de la envolvente está compuesta por más de 5 300 paneles en forma de diamante con más de 5 000 elementos LED. El sistema curvilíneo de la envolvente permite una amplia gama de secuencias cambiantes de colores y hasta se puede proyectar videos 3D de baja resolución. Fuente: Sitio web del *Yas Hotel*

disponibles en sistemas de iluminación LED son rojo, ámbar, naranja, cian, azul, azul rey y verde. Las aplicaciones están desde la iluminación en casas, oficinas, centros comerciales, hoteles (Figura 3.6), hasta su aplicación en puentes.

Las luminarias LED tienen una duración de 20 veces mayor que las de bulbo incandescente y de 2 a 3 veces mayor que las fluorescentes. (Figura 3.7)



Figura 3.7 El foco LED GE Energy Smart®. En su versión de 9 watts está diseñado para reemplazar a los incandescentes comunes de 40 watts, brindando la misma cantidad de luz con un ahorro de energía de hasta 77%. Su vida útil es de 25mil horas, suficiente para durar hasta 17 años considerándose un uso diario de 4 horas. Fuente: Sitio web de *Gadgets y electrónica*

En los próximos años, la tecnología LED podrá ser usada en muchas de las aplicaciones dentro de los edificios, reduciendo de manera significativa la demanda energética y los costos por consumo de energía.

- **Iluminación fluorescente.** La luz fluorescente es usada en la mayoría de los edificios debido a su alta eficiencia y fácil control. Las lámparas se clasifican de acuerdo a su longitud, forma, diámetro, voltaje, temperatura de calor e índice de interpretación del color<sup>11</sup> (*CRI o color rendering index*). Es importante colocar el tipo de luminaria dependiendo del uso del lugar, por ejemplo, en zonas abiertas como estacionamientos, autopistas, o jardines, los reflectores son lo más conveniente. Sin embargo, en edificios de oficinas no sería nada conveniente un reflector, así que optamos por lámparas parabólicas que reducirán el deslumbramiento y la emisión de flujo luminoso de los monitores. Aunque también dependerá de la altura del techo; para el caso de techos mayores a 2.7m se recomienda luminarias colgantes o de pared, en techos menores a 2.6m la colocación de luminarias parabólicas es más adecuado. Las lámparas colgantes y de pared integran una estrategia de alta eficiencia energética debido a que reducirá el número de luminarias necesarias para satisfacer la demanda de luz en una zona determinada del edificio.

---

<sup>11</sup> El CRI indica cómo una fuente de luz afecta la apariencia de un arreglo de colores estándares bajo condiciones estándar.

- **Iluminación por fibra óptica.** Un sistema de iluminación por fibra óptica está integrado por tres elementos:
  1. Iluminador, el cual se conecta a una toma convencional y cuyo consumo puede ser de 75, 100, 150, 200, 250 watts empleando lámparas de halógeno o haluro metálico. Dependiendo del iluminador se puede instalar una rueda de colores o adaptarlo a una conexión DMX<sup>12</sup> permitiendo el cambio y/o programación de diferentes colores de iluminación a las fibras ópticas conectadas al iluminador.
  2. Cable de fibra óptica. La emisión de luz que entregan los cables de fibra óptica puede ser lateral (generando una línea continua de luz al estilo de un cable neón) o puntual (*spot o end lit*) permitiendo variar el haz de luz entregado dependiendo del foco (terminal) que sea instalado.
  3. Foco (terminal). Existen diferentes tipos de focos que se conectan al cable de fibra óptica. En el caso del cable de iluminación lateral pueden instalarse guías de montaje permitiendo generar líneas curvas o rectas dado que el cable de fibra óptica es flexible. En el caso de iluminación puntual la diversidad de terminales es mayor, dependiendo de las aplicaciones. (Figura 3.8)



Figura 3.8 Fibra óptica subacuática. Mediante el uso de sistemas de iluminación puntual se puede conectar lentes subacuáticos para iluminación de albercas. Las principales ventajas del uso de la fibra óptica es que no conduce electricidad, calor o gases, permite el cambio de color en la iluminación, es muy durable, de bajo consumo energético y prácticamente no necesita mantenimiento. Fuente: Sitio web *Architecture Things*

---

<sup>12</sup> DMX 512, a menudo abreviado como DMX (Digital Multiplex), es un protocolo electrónico utilizado en iluminación para la gestión y control de iluminación espectacular permitiendo la comunicación entre los equipos de control de luces y las propias fuentes de luz.

### 3.6.2 Sistemas de control de iluminación

Idealmente los controles de iluminación deberían de formar un sistema integral que cumpla con dos funciones básicas: (a) detectar cuando un lugar esté ocupado y apagar y encender las luces como respuesta a la presencia o ausencia de ocupantes; (b) aumentar o disminuir la intensidad de las luminarias o, encender o apagar las luces para compensar los niveles de luz suministrados por el sistema de iluminación pasivo.

“Investigaciones han demostrado que la iluminación natural en conjunto con los sistemas de iluminación artificial, tales como sistemas de encendido y apagado continuos, y sistemas de atenuación continua, tienen el potencial de reducir el consumo de energía eléctrica en edificios de oficinas hasta en un 50%.”(Kilbert, 2009).

Existen dos tipos básicos de sistemas de control de iluminación: encendido y apagado (*switching*) y control gradual (*dimming*). Los sistemas *dimming* con DDC pueden ir aumentando o disminuyendo la intensidad de la luz a lo largo del día en función de la cantidad de luz de día presente, por lo que la luz artificial mantendrá estable la cantidad de luz en el edificio eliminando cambios bruscos de iluminación, como lo sería el caso de un sistema *switching*. Los sistemas *dimming* son más adecuados para oficinas, escuelas y aquellas instalaciones donde se lleve a cabo trabajo de escritorio. Los sistemas *switching* pueden ser usados en áreas con altos niveles de luz de día tales como vestíbulos, corredores exteriores, o lugares como cafeterías o salones de reunión donde no se realicen actividades visuales críticas. Para llevar a cabo este control se usan sensores fotosensibles, al menos uno por cada orientación del edificio. La zona de control de iluminación interior en oficinas será de 5m medidos desde la ventana (que representa la profundidad de la zona promedio iluminada naturalmente). Los controles de iluminación pueden ser ajustados para suministrar una cantidad de luz deseada en cualquier área del edificio.

### 3.6.3 Motores eléctricos

Los motores eléctricos son elementos importantes en un edificio ya que mueven ventiladores, bombas, elevadores, entre otros. Los motores generalmente consumen de 4 a 10 veces su costo en energía cada año, de ahí que tenga sentido la adquisición de modelos ahorradores de energía. El aumento de la eficiencia de los motores y equipos eléctricos llevarán a ahorros significantes de energía reduciendo los costos operativos.

### 3.7 Tecnologías Vanguardistas en la Optimización de Energía

A partir del auge de la edificación sustentable, se han desarrollado diversas tecnologías en materia de sistemas de ahorro de energía eléctrica. Cuatro de las nuevas tendencias en edificaciones se describirán en este apartado: Enfriamiento por radiación, *ground coupling*, sistemas de energía renovables y celdas de combustible. Enfoques que conforman una estrategia innovadora en el campo de la ingeniería civil sustentable los cuales, de ser adecuadamente integrados en un edificio tendrán un efecto muy positivo en el consumo de energía.

#### 3.7.1 Enfriamiento por radiación

El enfriamiento por radiación es una estrategia en la cual el sistema de ventilación está compuesto por tuberías dispuestas a lo largo de los techos, paredes o pisos, las cuales transportan agua fría, permitiendo una radiación de energía calorífica de baja temperatura hacia el interior del edificio. En los sistemas convencionales el sistema de enfriamiento está compuesto por tuberías que transportan aire frío el cual es expulsado al interior del edificio en zonas puntuales, en cambio, en el sistema por radiación todo el techo radiará el frío que se dispondrá por toda la zona.

Un sistema de enfriamiento convencional utiliza como medio principal el aire, que es un medio compresible, con baja capacidad térmica, y con una demanda mayor de energía para su movimiento. Al contrario, el agua es incompresible, tiene una capacidad térmica tres mil veces mayor a la del aire y es más fácil de mover, lo cual hace la operación de un sistema de enfriamiento por radiación mucho más barato en sus costos operativos. Es importante la instalación de sensores de humedad para asegurar que la temperatura del agua se mantenga siempre por debajo del punto de rocío del aire del lugar. De ahí que ésta tecnología sea más apropiada en climas secos. En climas húmedos, el simple hecho de abrir una puerta dejará entrar suficiente humedad al lugar lo cual permitirá que la condensación se lleve a cabo, por lo que la aplicación de esta estrategia en climas cálidos y húmedos deberá de integrarse de manera conjunta con sistemas de enfriamiento mecánicos con el fin de tener un sistema factible económicamente y de bajo consumo energético.

El costo de un sistema de enfriamiento por radiación es aproximadamente el mismo que un sistema VAV, sin embargo, los ahorros a lo largo de su ciclo de vida son 25 por ciento

mayores que los de un sistema VAV. Además, la energía requerida para hacer circular el agua representa el 5% de la energía necesaria para circular una cantidad de aire similar.

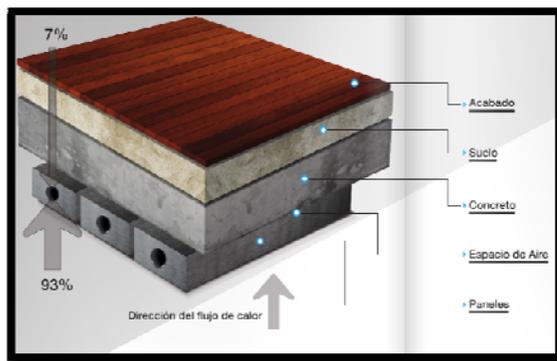


Figura 3.9 Esquema de un sistema de enfriamiento por radiación. Fuente: Sitio web *Mundo HVACR*

Algunas de las ventajas del sistema de enfriamiento por radiación (Figura 3.9) incluyen mecanismos simples, bajos costos de mantenimiento y bajo consumo de energía eléctrica comparados con los sistemas tradicionales.

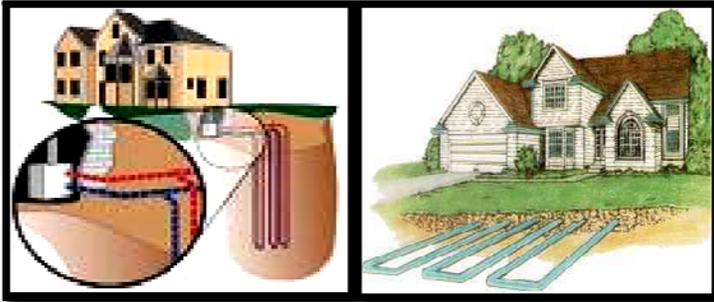
Existen tres tipos principales de sistemas de enfriamiento por radiación:

- Paneles metálicos. Son tubos metálicos conectados a paneles de aluminio. Es el sistema más usado debido a que tiene un tiempo de respuesta a condiciones cambiantes relativamente corto.
- Mallas de enfriamiento. Consisten en tubos de plástico embebidos en yeso.
- De núcleo de concreto. Son tubos de plástico incrustados en los pisos de concreto y en losas de techo o entrepiso.

### 3.7.2 Sistemas geotérmicos

Estos sistemas representan un método innovador que aprovecha las características geotérmicas del suelo y cuerpos de agua cercanos al edificio para reducir el consumo de energía de los sistemas de calefacción y enfriamiento. La distribución de la temperatura del suelo con respecto a la profundidad (perfil térmico) está en función de la conductividad térmica del suelo. Las observaciones de la temperatura del suelo a lo largo de un año revelan que “existe una variación diurna de la temperatura en la superficie, que se extiende hasta una profundidad de alrededor de un metro, debajo de la cual las variaciones son demasiado pequeñas” (Inzunza, 2001). Lo cual implica que la temperatura por debajo de los 2m prácticamente no varía a lo largo del año, fundamento físico de la tecnología de calefacción y enfriamiento geotérmico (*ground coupling*). Existen dos métodos para aplicar estos sistemas, directo e indirecto.

El método directo consiste en la colocación de tuberías al interior del suelo (Figura 3.10) o en cuerpos de agua (fuentes geotérmicas), unidas al sistema de calefacción o enfriamiento del



edificio, las cuales enfriarán o calentarán el agua por medio de transferencia de calor al

Figura 3.10 La disposición de las tuberías en el suelo puede ser de forma vertical u horizontal y doble o sencilla. Fuentes: Sitios web de *Novarma* y *XERXE*.

contacto con la fuente geotérmica.

El método indirecto emplea el uso conjunto de bombas de calor con el método directo para suministrar la cantidad de calor o frío necesario dentro del edificio. La aplicación de este método se debe a que la temperatura resultado del método directo no satisface totalmente la demanda del edificio por lo que se ayuda de sistemas eléctricos. Aún así, los ahorros en consumo de energía son muy importantes, ya que el proceso de intercambio térmico entre la fuente geotérmica y la tubería prácticamente no implica ningún costo, más que el de recirculación del agua.

### 3.7.3 Energías renovables

Las energías renovables en edificios pueden generarse in-situ mediante tecnologías de sistemas de celdas fotovoltaicas, de generadores eólicos y de celdas de combustible.

- **Celdas Fotovoltaicas.**

Una celda fotovoltaica es un dispositivo que convierte energía solar en eléctrica y dispone de batería para almacenamiento de energía en caso de ser necesario. El uso de celdas fotovoltaicas en edificios es una práctica cada vez más común para optimizar el consumo de energía. Recientemente, las nuevas tecnologías de sistemas fotovoltaicos integrados al edificio (*BIPV* o *building-integrated photovoltaics*) han cambiado la concepción tradicional de sistemas fotovoltaicos al integrarlos como materiales de construcción además de realizar su función principal de producción de electricidad. Los elementos BIPV (Figura 3.11) son tan diversos como los elementos que integran la fachada de un edificio, van desde cristales, domos, paredes, techos, hasta persianas solares y membranas impermeables. La apariencia y color de los productos BIPV variarán dependiendo de la aplicación y el tipo de tecnología del colector solar, los más eficientes tienen un color azul oscuro o casi negro, aunque también están disponibles en gris oscuro y azul, algunas

compañías pueden construir elementos de colores personalizados en caso de grandes pedidos. Dependiendo del medio colector, los BIPV pueden generar aproximadamente de 50 a 100 watts por metro cuadrado.



Figura 3.11 Tipos de cristales en la tecnología BIPV. Pueden ser transparentes (izquierda) o semitransparentes (derecha) adecuándose al diseño del edificio. Fuente: Sitio web *BIPV Building Integrated Photovoltaics*

#### ▪ Energía eólica.

La energía eólica es una nueva tendencia que está ganando terreno en el campo de energías renovables para edificios, presentando un crecimiento del 23% desde el 2008 según los datos reportados por la Asociación de Energía Eólica. El principio fundamental es la conversión de energía eólica a eléctrica. Se dice que “esta tecnología es ideal para grandes edificios, centros comerciales, escuelas, etc., ya que pueden alimentar al edificio completo sin que tenga la necesidad de comprar electricidad de la red”<sup>13</sup>.

Uno de los productos representativos de este tipo de energía es el cubo de viento “*Windcube*” (Figura 3.12) el cual captura el viento y lo envía al centro del cubo donde está la turbina, en el proceso, basado en el principio de Bernoulli, captura y amplifica el poder del viento para suministrar más kilowatts hora (kWh). Una turbina de viento comercial tipo *Windcube* (60 kW) es capaz de suministrar alrededor de 160 000 kWh anualmente con una velocidad promedio del viento de 15 mph. Sus dimensiones son 6.7x6.7x3.7m.



Figura 3.12 Tipos de sistemas eólicos. Turbina de cubo de viento (izquierda) y modulares (derecha).

Fuente: Sitio web *Inhabitat, design will save the world*

<sup>13</sup> “Turbinas de viento para edificios.”, *Blog eRenovabe*

Otra tecnología en materia de energía eólica son las turbinas modulares. Éste sistema está compuesto por turbinas silenciosas de baja velocidad dispuestas en un arreglo modular colocado en las orillas de los techos de los edificios, el cual gracias a su diseño aerodinámico captura el viento que corre junto a las paredes de los edificios altos. Las turbinas modulares de la Figura 3.13 cuentan con un peso de 90kg por unidad, una altura y ancho de 1.2m.

■ **Celdas de combustible**

Una celda de combustible es un dispositivo de conversión de energía, que opera como una batería, el cual genera electricidad combinando hidrogeno y oxigeno electroquímicamente sin ninguna combustión. A diferencia de las baterías, una celda de combustible, no se agota, ni requiere recarga, producirá energía en forma de electricidad y calor mientras se le provea combustible, el único subproducto es agua pura. Una celda de combustible consiste en dos electrodos, por los que pasa oxigeno en uno e hidrogeno en el otro, separados por un electrolito. (Figura 3.13)

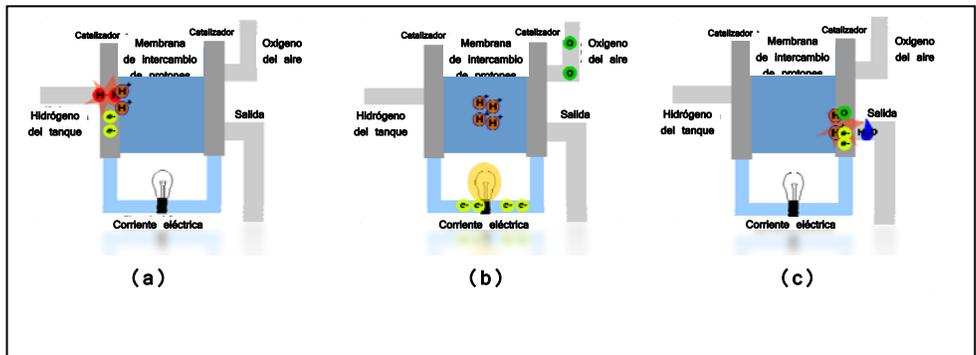


Figura 3.13 Esquema del funcionamiento de una celda de combustible. Fuente: Tomado del sitio web del *Schatz Energy Research Center* y modificado por la autora.

La base del funcionamiento de una celda de combustible consiste en tres pasos, esquematizados en la figura anterior, y que son: (a) al momento de que el hidrógeno es ionizado, pierde un electrón y al ocurrir esto, ambos (hidrógeno y electrón) toman diferentes caminos hacia el segundo electrodo. (b) El hidrógeno migra hacia el otro electrodo a través del electrolito, mientras que el electrón lo hace a través de un material conductor. (c) Este proceso producirá agua, corriente eléctrica y calor útil.

Las celdas de combustible promueven una diversidad de fuentes de energía, tales como hidrógeno, metano, etano, gas licuado (LPG), además de energías renovables (biomasa, solar o eólicas).

Existen diferentes tipos de celdas, de ácido fosfórico, alcalinas, carbonato fundido, óxido sólido y membranas de intercambio de protones (*PEM o Proton Exchange Membrane*). Las aplicaciones de estas celdas en el ámbito de la construcción están en la parte de cogeneración (uso combinado de calor y electricidad), sobretodo con celdas PEM que trabajan a temperaturas relativamente bajas (80°C), tienen una densidad de potencia alta, pueden variar su salida rápidamente para satisfacer cambios en la demanda de potencia y son adecuadas para aplicaciones donde se requiere una demanda inicial rápida.

### **3.8 Edificios Inteligentes y Sistema de Control de Energía**

Un sistema de control de energía (*EMS o Energy Management System*) de un edificio consiste en una computadora cuyo software controla el consumo de energía de todo el equipo eléctrico con el fin de asegurar la operación eficiente y eficaz de los sistemas eléctricos del edificio. De aquí nace el concepto de edificio inteligente en el cual se incorpora el concepto de EMS a un sistema de intercambio de información y DDC que otorgará un ambiente más productivo y flexible. En cada zona del edificio, un sistema de automatización del edificio se conectará por banda ancha con todos los equipos de telecomunicación, sistemas HVAC, sistemas de incendios, iluminación, sistemas eléctricos de emergencia, de seguridad, y demás equipo eléctrico del edificio para lograr una integración y programación de todo el sistema eléctrico.

Por otra parte, mediante el uso de controles digitales (DDC) se obtendrá un funcionamiento más óptimo de los sistemas HVAC bajo las diferentes condiciones de demanda a lo largo del día. Además, con la ayuda de sistemas de control de temperatura y humedad, los DDC permitirán la integración de información de calidad del aire y niveles de dióxido de carbono. Los sistemas digitales pueden procesar y almacenar información, y administrar complejas interrelaciones entre los componentes y sus sistemas. El control de los sistemas de iluminación también se puede lograr mediante controles digitales y permitir el control personalizado de la iluminación por parte de los ocupantes.

Algunos de los sistemas principales que integran un edificio inteligente son: uso de fibra óptica, acceso a internet inalámbrico en todo el edificio, conexión de banda ancha, accesibilidad satelital, red de servicios digitales integrados, plantas de energía, red de video/voz y datos, sistemas HVAC de alta eficiencia energética, sistemas de iluminación automáticos, elevadores inteligentes que agrupen a pasajeros con base en una designación de pisos, sensores automáticos para ahorro de agua, directorios computarizados e interactivos del edificio, entre otros. De ahí que un edificio inteligente es un concepto que indudablemente está integrado dentro del diseño de un edificio sustentable de alto rendimiento.

