



EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UN EDIFICIO DE OFICINAS UBICADO EN CARACAS, SEGÚN LA METODOLOGÍA DEL CENTRO DE ASESORAMIENTO INDUSTRIAL

■ María Elena Rangel Challa

email: m_elena85@hotmail.com

Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad Católica Andrés
Bello, Caracas, Venezuela.

Fecha de Recepción: 17 de abril de 2009
Fecha de Aceptación: 14 de septiembre de 2009

Resumen

En consonancia con la política ambientalista de la empresa Shell a nivel mundial, Shell Venezuela S.A con una visión de desarrollo sustentable y ante el impacto generado por el Calentamiento Global, se interesa en aplicar medidas como la realización de auditorías energéticas a sus edificaciones. De esta forma nació la idea de evaluar el edificio Parque Ávila (Torre HP), en donde actualmente se ubican las oficinas de dicha empresa en Caracas. Para llevar a cabo este estudio se empleó la metodología del Centro de Asesoramiento Industrial de EE.UU, ampliando el concepto original, para evaluar además el consumo de agua y el manejo de desechos del edificio. Para el levantamiento de información se recurrió en la mayoría de los casos a datos nominales, estimaciones de consumo de energía de equipos y su horario de funcionamiento, para armar herramientas en el programa Excel. Con éstas últimas se realizó una simulación estática del comportamiento de la edificación en cuanto a consumos de energía y agua, manejo de desechos y emisiones de gases efecto invernadero asociadas a estas actividades. Como resultado se determinó que el edificio cuenta con adecuada eficiencia energética en sus instalaciones y opera dentro de parámetros normales de consumo de agua, generación de desechos y emisiones de gases. Sin embargo, se propusieron ciertas medidas para mejorar aún más dicha eficiencia, a corto, mediano y largo plazo, las cuales ameritan costos de inversión muy elevados. Aunque dichas medidas no resultan

rentables bajo las condiciones económicas actuales del país, son muy atractivas desde el punto de vista de la eficiencia y la reducción de la huella generada por emisiones de gases contaminantes.

Palabras clave: Calentamiento Global, Emisiones de Gases Efecto Invernadero, Desarrollo Sustentable, Eficiencia Energética.

Abstract

Aligned with the environmentalist politics of Shell on a worldwide basis, Shell Venezuela with a vision of sustainable development and in response to the impact generated by the Global Warming, is interested in applying measures like the execution of energy audits to its buildings. Due to this, was born the idea of evaluate the building Parque Ávila (Torre HP), where at the present the offices of Shell Venezuela in Caracas are located.

This study was carry out applying the methodology of the Industrial Assessment Center of U.S.A, and it's original concept was expanded with the evaluation of the consumption of water and the waste's management of the building. The lifting of information was based, in most cases, in nominal data, energy consumption's estimations of equipment and its schedule of operation, to assemble tools in the Excel program. With these tools was carried out a static simulation of building's behavior related with the consumption of energy and water, management of waste and greenhouse gases emissions associated to these activities. As a result it was determined that the building has adequate energy efficiency in its installations and it operates inside normal parameters of consumption of water, waste's and gases emissions. Nevertheless, certain measures were proposed to improve this efficiency, in short, medium and long-term time limit, which requires high costs of investment. Although this measures does not turn out to be profitable under the current economic conditions of the country, are very attractive since the point of view of the efficiency and the reduction of the damaged generated by gases emissions.

Keywords: Global Warming, Greenhouse Gases Emissions, Sustainable Development, Energy Efficiency.

1. Planteamiento del Problema

El acelerado crecimiento poblacional y el desarrollo de la tecnología en las industrias, han incrementado la demanda energética mundial, el consumo de recursos naturales no renovables como el agua y la cantidad de desechos generados. Éstas son tres de las causas más importantes de los problemas ambientales en la actualidad, y especialmente del Calentamiento Global, producto de la acumulación de Gases Efecto Invernadero en la atmósfera (vapor de agua, CO₂, CH₄, O₃, CFCs, NO_x y SO_x, entre otros), que trae como consecuencia cambios de la temperatura media global, la frecuencia y distribución de las precipitaciones, ciclo hidrológico, entre otros [1].

En primer lugar, se plantea la energía como condición necesaria para mantener el nivel actual de progreso humano y económico. La creciente demanda de cuatro sectores básicos (industrial, servicios, residencial y transporte) requiere mayor generación de energía. El caso específico de la energía eléctrica conlleva dos factores fundamentales a considerar: emisiones de gases al medio ambiente debidas a la quema de combustibles fósiles para generar termoelectricidad y, además, la utilización de recursos no renovables como el agua en la hidroelectricidad. Se estima que por cada tonelada métrica de energía producida se emiten a la atmósfera alrededor de 2,3 toneladas de CO₂, cifra que se irá incrementando aún más para poder satisfacer la demanda energética mundial.

Seguidamente se encuentra la problemática referente al agotamiento del agua debido al despilfarro de este recurso por parte de la población. Por último se exponen los inconvenientes asociados a la generación y mala gestión de desechos sólidos, producto de actividades típicas en toda organización, lo cual favorece cada vez la emisión de más sustancias tóxicas al medio ambiente.

Con los actuales patrones de consumo, el panorama no se vislumbra muy alentador: los recursos energéticos y naturales comenzarán a escasear, hasta poder llegar a un punto en que sean incapaces de satisfacer la demanda poblacional. Al mismo tiempo las emisiones de gases contaminantes alcanzarán niveles intolerables para la población. Es necesario entonces pensar en la sustentabilidad, entendida como la capacidad de gestionar el desarrollo global, satisfaciendo las necesidades de las sociedades

actuales, sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer las suyas [2].

A nivel mundial se ha observado una nueva tendencia hacia el desarrollo sustentable, principalmente orientada hacia el ahorro energético. Estados Unidos y España han sido unos de los principales precursores de ideas relativas a “Edificios Verdes” o “ecológicos”, los cuales reducen el impacto ambiental a través de la eficiencia energética, entendida como la reducción del consumo de energía manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir el confort ni la calidad de vida, protegiendo el medio ambiente, asegurando el abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible en su uso [3].

En Venezuela ideas como éstas no han sido adoptadas; se mantiene una tendencia de edificaciones que ahorran dinero en materiales de construcción, pero que representan un alto consumo energético. Sin embargo, en materia de eficiencia energética de edificaciones, se deben mencionar algunas iniciativas, principalmente relacionadas con proyectos e investigaciones realizadas a nivel universitario por parte del Instituto de Energía (INDENE) de la Universidad Simón Bolívar, Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC) de la Universidad Central de Venezuela, y el Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería (CIDI) de la Universidad Católica Andrés Bello. Pero el interés por temas como éste no es el común denominador de los venezolanos; los proyectos más ambiciosos se orientan, apenas, hacia la creación de campañas de concientización por parte de algunas empresas privadas, pero no se han desarrollado verdaderas políticas de manejo eficiente de la energía, agua y desechos en las edificaciones del país. Esto en gran parte debido al bajo costo de la energía que deben pagar los consumidores actualmente en Venezuela.

A pesar de ello es necesario entender la responsabilidad que tienen todos los individuos y organizaciones respetables en cuanto a la posibilidad de implementar nuevas tecnologías y procesos que permitan un uso más eficiente de energía y agua, así como establecer medidas más adecuadas para el manejo de los desechos durante todas las etapas de su ciclo de vida. Estas medidas no sólo contribuirían a minimizar el impacto en el cambio climático, sino que además representarían un ahorro en términos económicos, debido a la reducción del consumo de recursos.

Para contribuir a crear bases sólidas y cuantificables orientadas a la reducción del impacto ambiental de las

actividades empresariales en Venezuela, siguiendo la propuesta de la empresa Shell Venezuela, S.A, se planteó desarrollar un Trabajo Especial de Grado (T.E.G) que permitiera evaluar la eficiencia del consumo de energía, agua y manejo de desechos de un edificio de oficinas ubicado en Caracas: edificio “Parque Ávila” (Torre Hewlett Packard, en adelante Torre HP), siguiendo los criterios técnico-económicos de las auditorías realizadas por el programa del Centro de Asesoramiento Industrial. Dicho Programa, actualmente desarrollado en EE.UU, se encarga de diagnosticar y analizar el consumo de energía en plantas de la pequeña y mediana industria, a través de la realización de auditorías, con el propósito de disminuir su consumo energético, empleando una metodología que puede aplicarse a empresas de cualquier índole, como es el caso de un edificio de oficinas.

2. OBJETIVOS

El estudio tiene como objetivo general realizar una evaluación y propuesta de mejora de la eficiencia energética de un edificio de oficinas ubicado en Caracas, según la metodología del Centro de Asesoramiento Industrial.

2.1. Objetivos específicos

Caracterizar los aspectos técnicos del edificio relacionados al consumo de energía, agua y generación de desechos del mismo.

Evaluar la eficiencia actual en el consumo de energía del edificio y determinar las áreas en las que se encuentran las principales cargas.

Calcular las emisiones de carbono asociadas al consumo energético del edificio.

Proponer mejoras para aumentar la eficiencia energética del edificio.

Evaluar la factibilidad técnica, rentabilidad y recursos necesarios para llevar a cabo dichas mejoras.

3. MARCO REFERENCIAL

3.1. Incremento de emisiones de Gases Efecto Invernadero(GEI)

Las emisiones de GEI a la atmósfera se han incrementado desde la Revolución Industrial, por razones antropogénicas principalmente (producidas por

la actividad humana), en especial por la utilización de combustibles fósiles durante la generación de energía eléctrica, actividades industriales y el transporte [4]. El incremento más importante de emisiones corresponde al CO₂, el cual ha aumentado su concentración de 280 a 370 ppm en las últimas tres décadas [5]. Ante esta situación, el panorama que se vislumbra no es muy favorable. Con el incremento de la población alrededor del mundo también aumentará la demanda energética mundial, requiriendo cada vez más energía para iluminación, transporte, servicios en general, actividades en las industrias y otros.

En relación al consumo de energía, los tres sectores que encabezan la lista son: industrial, transporte y residencial [6], responsables por tanto de gran parte de las emisiones de GEI a la atmósfera; y en el caso particular del sector residencial éste representa además porcentajes considerables del consumo de agua mundial [7]. Éstas tendencias invitan a considerar el hecho de adoptar medidas para un consumo más eficiente de energía y agua, a nivel de edificios en este caso, que ayuden a preservar el medio ambiente.

3.2. Cálculo de emisiones de Gases Efecto Invernadero

Muchas organizaciones a nivel mundial han desarrollado voluntariamente algunos procedimientos y herramientas para calcular las emisiones de GEI, a fin de que cada persona, empresa u organismo pueda conocer el impacto que generan sus actividades en el ambiente. Este impacto se ha dado a conocer últimamente como *huella*, y específicamente para el CO₂, *Huella de Carbono* (Carbon Footprint).

En este caso se hablará específicamente de las tres herramientas empleadas durante el desarrollo del T.E.G:

a. Carbon Footprint Calculator

Calcula las emisiones de CO₂ de cada individuo, vivienda o edificio, relacionadas con actividades de oficina, vuelos, vehículos particulares y transporte público, arrojando un resultado final de la cantidad de emisiones de CO₂. Ofrece una base de datos conformada por país y fechas para poder determinar la conversión necesaria a utilizar. Se empleará Carbon Footprint Calculator para emisiones de CO₂ relativas a la generación de electricidad consumida en la edificación.

En el caso de Venezuela el factor de conversión dado por el programa para el período en estudio (1/10/2007 - 30/09/2008) fue el siguiente:

$$1KWh = 0,5533 \text{ lb } CO_2 \quad 1KWh = 0,5533 \text{ lb } CO_2 \quad (1)$$

Expresándose los resultados en toneladas de CO₂ (1 ton CO₂ = 2.204,6 lb CO₂)

b. Complete Emissions Calculator, Profitable Green Solutions (PGS)

Esta calculadora, además de la huella de CO₂, también mide las emisiones de NO_x y SO_x asociadas bajo una referencia de EE.UU. Empleando una relación lineal basada en los factores de cálculo de emisiones de CO₂ por cada KWh en ambos programas, se puede realizar un ajuste para el caso de Venezuela, como sigue:

Tabla 1. Factores de conversión: calculadoras de emisiones de CO₂ por 1 KWh

PROGRAMA	lb CO ₂	lb No _x	lb So _x
Carbon Footprint Calculator (Venezuela)	0,5533	0,0030	0,0015
PFS Complete Emissions Calculator (EE.UU)	1,3630	0,0075	0,0036

(Fuente: Elaboración propia en base a factores de conversión de Carbon Footprint Calculator y Profitable Green Solutions)

c. Recycled Waste Materials & Greenhouse Gas (CO₂) Saved Calculator, enviroIndex™

Se emplea para calcular la cantidad de CO₂ ahorrado si se recicla basura y materiales de desecho, en lugar de tratar los desperdicios según las prácticas comunes: quema o relleno sanitario. Este valor de emisiones de CO₂ ahorradas, corresponde a las mismas emisiones generadas bajo prácticas comunes en distintas partes del mundo (incluyendo Venezuela). Los factores de conversión, en este caso, por cada kilogramo (1Kg) de tipo de desecho que no es compactado en el lugar, son los siguientes:

Tabla 2. Factores de conversión: calculadora de emisiones de CO₂ por disposición de 1 Kg de desechos

TIPO DE DESECHO	Kg CO ₂
Aluminio	15,700
Vidrio	0,400
Papel y cartón	2,000
Plástico	2,324

(Fuente: Recycled Waste Materials & Greenhouse Gas (CO₂) Saved Calculator, enviroIndex™)

Por otro lado, para calcular las emisiones de CO₂ asociadas a la ocupación del edificio, por concepto de la respiración humana se tomará en cuenta un promedio de 0,043Kg de emisiones de CO₂ por hora producto de la respiración [8], además de la cantidad de personas que ocupan el edificio y el tiempo promedio de estadía en él; comprendidos en la siguiente ecuación:

$$Emisiones_{CO_2 \text{ ocupación}} = N^{\circ} \text{ personas} \times \text{tiempo de estadía (h)} \times 0,043 \text{ Kg CO}_2 \quad (2)$$

3.3. Consumo de energía y agua en edificaciones

El consumo de energía en edificios está asociado a los sistemas de aire acondicionado, iluminación, ascensores, bombas, equipos de ofimática y otros equipos como electrodomésticos, y el porcentaje de cada uno de ellos puede variar de acuerdo al uso de la edificación.

3.3.1. Sistema de aire acondicionado

Corresponde al conjunto de equipos e instalaciones mecánicas encargadas de la climatización artificial de la edificación. Según los requerimientos y dimensiones del edificio. El edificio puede contener equipos centrales de aire acondicionado, equipos de ventana, unidades de manejo de aire (UMAS), fan coil, y/o Split.

La recopilación de información para realizar una evaluación básica de estos sistemas se basa en los siguientes aspectos: levantamiento de inventario de equipos de aire acondicionado; recolección de datos de la placa (especificaciones eléctricas, potencia nominal del motor, capacidad de enfriamiento); horario de funcionamiento y superficie que climatiza.

El consumo puede calcularse de dos formas: con los valores nominales del equipo que indiquen el consumo en KW, o midiendo el amperaje del equipo con una pinza amperimétrica en el momento de arranque y

cuando se encuentra operando de forma estable. Cabe destacar que cuando estos equipos arrancan registran un mayor consumo de electricidad, hasta que alcanzan la estabilidad, lo cual puede durar segundos o minutos de acuerdo al tipo de equipo. Para este segundo caso de medición se emplea:

$$KW = \frac{A \times V \times \sqrt{3} \times \cos(0,99)}{1000} \quad (3)$$

Donde:

A: amperaje medido

V: voltaje que maneja el equipo

0,99: factor de potencia manejado por la Electricidad de Caracas

Posteriormente, puede determinarse el consumo eléctrico anual de cada equipo existente en función del horario de operación del mismo, como sigue:

$$KWh/año = KW \times \frac{h_{\text{funcionamiento}}}{\text{día}} \times \text{días/año} \quad (4)$$

Para medir la eficiencia en sistemas de aire acondicionado en Venezuela, se utiliza un índice relativo al área de construcción acondicionada por tonelada de refrigeración instalada:

$$I_{\text{eficiencia A/A}} = \frac{m^2}{\text{ton}} \quad (5)$$

cuyo valor se encuentra comúnmente alrededor de **20m²/ton**; sin embargo, para otros países con normas establecidas sobre el consumo energético, se puede conseguir un mayor aprovechamiento del sistema de aire acondicionado, alcanzando valores alrededor de 40 m²/ton [9].

3.3.2. Sistema de bombeo

Representa los equipos e instalaciones encargados del manejo del agua en la edificación. Por lo general está compuesto por un sistema hidroneumático para impulsar las aguas blancas a todo el edificio; un sistema de bombeo de agua negras para que éstas sean expulsadas fuera de la edificación; bombas de achique para expulsar aguas de lluvia en caso de existir sótanos o niveles inferiores a la calle y un sistema para el bombeo de agua en caso de incendio.

Los consumos de energía en estos sistemas están asociados a la energía eléctrica de entrada al motor, por lo que es necesario conocer la potencia del mismo para determinar su consumo. De igual forma se debe tomar

en cuenta el horario de funcionamiento del sistema de bombeo para determinar los KWh consumidos, y aplicar las dos formas de medición establecidas para el sistema de aire acondicionado.

3.3.3. Iluminación

Es uno de los consumos de electricidad más importantes que se registran en las edificaciones. El sistema de iluminación está compuesto por lámparas y luminarias. Las primeras se refieren a los bombillos que son los que generan las radiaciones artificiales con las que se produce la iluminación; y las luminarias son los aparatos que sirven como soporte y conexión de las lámparas a la red eléctrica, además de distribuir el flujo de las fuentes de luz. Las lámparas se clasifican, en forma general, en incandescentes o de descarga. Para este último caso, los sistemas de iluminación requieren además de equipos auxiliares: balastos y arrancadores, los cuales pueden consumir, según su tipo, entre el 10% y 30% de la potencia de la lámpara a servir.

Para evaluar el consumo procedente del sistema de iluminación se requiere recolectar información relacionada con cantidades y tipos de luminarias y lámparas, potencia de las lámparas (W), tipo de balasto y su horario de funcionamiento. El cálculo puede hacerse empleando (4).

El rendimiento energético del sistema de iluminación se puede calcular en base a la carga total (W) empleada para iluminar una superficie:

$$R_{itum} = \frac{W}{m^2} \quad (6)$$

En este caso, el valor de referencia establecido para determinar si este sistema es eficiente o no, se ubica en un rango de **10 a 15 W/m²** para edificaciones [10].

3.3.4. Ofimática

La ofimática corresponde a todo el equipamiento hardware para manejo y transmisión de información, que permite llevar a cabo las labores diarias del trabajo en oficinas. Entran dentro de esta clasificación: computadoras, impresoras, faxes, equipos multifuncionales, fotocopiadoras, scanners, teléfonos inalámbricos, entre otros.

Existen diversos patrones de utilización de equipos de ofimática, según los cuales se establecen tres modalidades de consumo energético:

- **Modo encendido.** Representa el consumo total nominal del equipo. Permanece en este modo mientras está en uso.

- **Modo preparado.** En equipos modernos es común observar el modo preparado, en espera o stand by. Éste se activa después de cierto tiempo en que permanecen inactivos. Un equipo bajo esta modalidad puede consumir alrededor del 10% del modo encendido.
- **Modo apagado.** Se establece cuando se apaga el equipo, pero permanece conectado a la fuente de poder. De esta forma también se registra un consumo de energía, el cual puede ubicarse alrededor del 5% del modo encendido. La única forma de obtener un valor de consumo cero es desconectando el equipo.

El cálculo del consumo de energía para equipos de ofimática se hace empleando (4), para cada tipo de modalidad (encendido, preparado y apagado), teniendo en cuenta el tiempo de duración de cada una de ellas. Para trabajos de oficina, en una jornada laboral de 8 horas, es común observar el siguiente comportamiento: 6 h encendido, 2 h preparado (por almuerzo y descansos), 16 h apagado.

3.3.5. Otros equipos

Se refiere a los electrodomésticos, televisores, reproductores y cualquier otro equipo de este estilo que no entre dentro de la categoría de ofimática. Para ellos también aplica las modalidades de consumo encendido y apagado, y en el caso de televisores y reproductores, también se observa el modo preparado mientras el equipo se “apague” con el control remoto y no desde la base directamente. El cálculo del consumo energético de dichos equipos se hace igual que para la ofimática.

3.3.6. Otros equipos mecánicos y eléctricos.

Se incluye en esta categoría a cualquier otro equipo que funcione con energía eléctrica, entre ellos: ascensores, cámaras de seguridad, equipos de ventilación forzada y puertas de acceso.

3.3.7. Instalaciones sanitarias

Hace referencia al equipamiento y piezas sanitarias de los baños, necesarias para evaluar la principal parte del consumo de agua de una edificación. En edificios de oficinas se observan usualmente inodoros, urinarios y lavamanos; cada uno de ellos puede presentar un sistema de grifería y válvulas de descarga que los hacen más o menos ahorradores de agua.

Para evaluar el consumo de agua anual proveniente de instalaciones sanitarias se requiere conocer la cantidad y tipos de piezas, tipo de válvulas empleadas y su caudal descarga, además de cantidad de personas

y número de veces que utilizan dichas instalaciones. De esta forma se puede establecer:

$$\left(\frac{L_{\text{agua}}}{\text{año}}\right)_{p.s} = N^{\circ} \text{ personas} \times N^{\circ} \text{ veces de uso}_{p.s} \times L_{\text{descarga}_{p.s}} \times \frac{\text{días}}{\text{año}} \quad (7)$$

Donde:

p.s: pieza sanitaria utilizada

4. METODOLOGÍA

La metodología empleada para la realización de este trabajo, estructurada en capítulos con sus respectivos objetivos, actividades y herramientas necesarias, se muestran en forma esquemática en la Figura 1.

Los principios básicos de la metodología planteada son aplicados por el Centro de Asesoramiento Industrial para la realización de auditorías energéticas a plantas industriales



Fig. 1. Esquema del marco metodológico empleado. (Fuente: elaboración propia)

5. RESULTADOS

Con el levantamiento de información realizado con base en inventarios, valores nominales relativos a la potencia y capacidad de equipos, además de sus horarios de utilización, fue posible simular los consumos de energía y agua del edificio en estudio, así como calcular la huella de CO₂ de sus ocupantes.

Teniendo en cuenta que la Torre HP es un edificio de oficinas, con un área total aproximada de 27.600m² dividida en dos torres (A y B), ocupadas por 1.033 personas que laboran como personal fijo y un promedio de 374 visitantes diarios para 15 empresas, además de saber que su única fuente de energía es eléctrica, los resultados principales obtenidos con el estudio, agrupados por categorías, fueron los siguientes:

5.1. Consumo de energía

Los resultados correspondientes al consumo de energía de la Torre HP se muestran de manera resumida en la tabla 3.

Tabla 3. Consumo de energía calculado vs. facturado

CONCEPTO	KWh/año
Aire acondicionado	3.044.575
Bombas	148.042
Iluminación	1.432.170
Ofimática	1.384.052
Otros equipos	269.896
TOTAL calculado	6.278.736
OTROS (eléctricos y mecánicos) + ERROR	2.450.528
TOTAL facturado	8.729.264 KWh/año
	760.310 BsF/año[11]

(Fuente: elaboración propia)

Al comparar el consumo de energía total calculado vs. el facturado (**8.729.264 KWh/año**), se observó una diferencia de **2.450.528 KWh/año**, que se atribuyó a las siguientes causas: consumo de los ascensores que no pudo determinarse debido a que no se contó con el equipamiento necesario para su medición; equipos eléctricos de seguridad a los cuales no pudo tenerse acceso; y el porcentaje de error respectivo debido a una aproximación realizada para caracterizar a aquellas oficinas que no permitieron acceso a sus instalaciones, que consistió en asignar los valores promedio de otras oficinas con áreas similares y condiciones normales de ocupación.

Estos valores fueron comparados con los consumos de energía de un edificio de oficinas en Venezuela, tomado como referencia de un estudio realizado por el IDEC-UCV (2002) [12], tal como se muestra en la Fig. 2.

En ambos casos se observa un comportamiento similar, en cuanto a que el principal consumo corresponde a los aires acondicionados, seguido del rubro denominado “otros” y el consumo por concepto de iluminación.

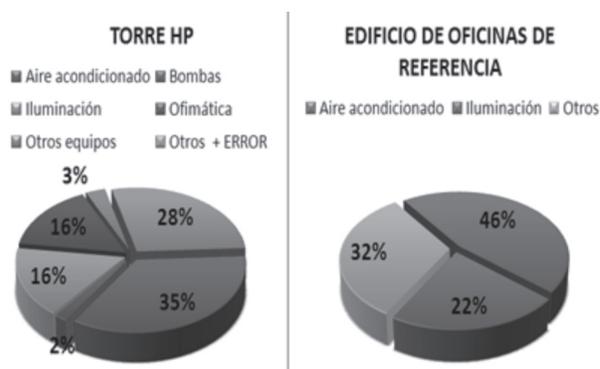


Fig. 2. Comparación de consumo de energía Torre HP vs. Edificio de Oficinas de referencia (Fuente: elaboración propia con base en cálculos obtenidos y referencia Guía de Operaciones de Ahorro de energía Eléctrica en Edificaciones Públicas, IDEC- UCV, 2002)

Analizando los porcentajes, los resultados de consumo de la Torre HP se encuentran por debajo de la referencia, lo que resulta un comportamiento positivo en cuanto a eficiencia energética se refiere. Otros indicadores de comportamientos adecuados de consumo en la edificación fueron los siguientes:

Para el sistema de aire acondicionado se obtuvo un índice de rendimiento de: **16,25 m²/Ton** en las oficinas de la Torre A, y **17,26 m²/Ton**, muy cercano a la media nacional (20 m²/Ton). Además, el sistema de aire acondicionado central opera en forma adecuada, al establecer horarios de encendido y apagado diario que permiten ahorrar gran cantidad de energía.

El rendimiento de iluminación promedio para el edificio fue **10,83 W/m²**, y a nivel de oficinas, **15,47 W/m²**, ambos dentro o muy cercanos del límite recomendado, tal como puede observarse en las figuras 3 y 4. Los valores atípicos son pocos, debidos principalmente a un exceso de carga conectada en áreas muy pequeñas, lo cual puede resolverse fácilmente disminuyendo dicha carga.

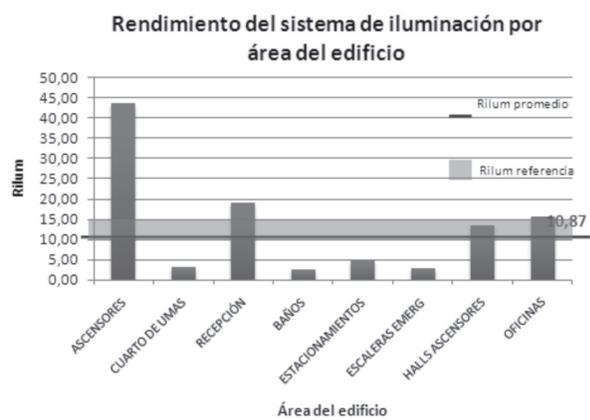


Fig. 3. Rendimiento del sistema de iluminación por área del edificio, Torre HP (Fuente: elaboración propia)



Fig. 4. Rendimiento del sistema de iluminación por oficinas, Torre HP (Fuente: elaboración propia)

6.2. Consumo de agua

A continuación se presenta el análisis para los factores de consumo de agua estudiados y los resultados obtenidos:

Tabla 4. Consumo de agua calculado vs. facturado

	Calculado	Facturado
$L_{\text{agua}}/\text{año}$	14.912.435,2	15.532.000,0
% Error	4%	

(Fuente: elaboración propia)

La Tabla 4 muestra que el valor calculado en relación al consumo de agua anual del edificio fue de **14.912.435 L/año**, lo que se comparó con la facturación de agua y dio un porcentaje de error del **4%**, pudiendo concluir que los cálculos son aceptados y reflejan en gran medida el comportamiento del edificio respecto al consumo de agua. En la Fig. 5 se puede observar el

desglose de dicho consumo, siendo el mayor de ellos a causa de los inodoros, seguido de los urinarios y lavamanos. Todas las piezas sanitarias de la edificación están equipadas con válvulas de descarga tipo Sloan, caracterizadas como ahorradoras de agua. Además, en recorridos realizados se observó que no existen goteras ni pérdidas de agua en las instalaciones.

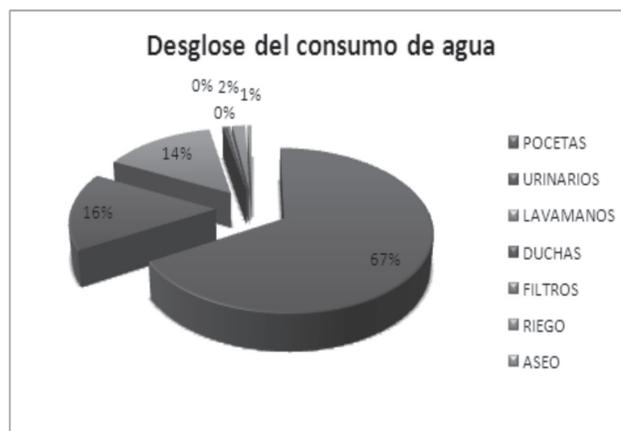


Fig. 5. Desglose porcentual del consumo de agua, Torre HP (Fuente: elaboración propia)

6.3. Generación y manejo de desechos

Los desechos generados en el edificio se calcularon en **57.024 Kg/año** de basura, clasificados por tipo y peso, como se muestra en la Fig. 6.

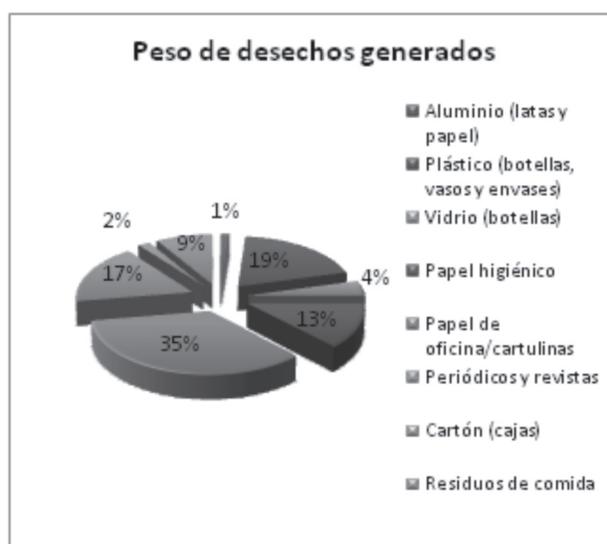


Fig. 6. Desglose de tipos y peso de desechos generados, Torre HP (Fuente: elaboración propia)

Por otro lado, en cuanto al manejo de desechos, la edificación no cuenta con ninguna práctica adicional al

respecto; la basura es gestionada a través de camiones enviados por la alcaldía del municipio correspondiente (Chacao), sin previa segregación o plan de reciclaje. Sin embargo cabe destacar la iniciativa de algunas de las oficinas al promover buenas prácticas en torno a la generación y manejo de desechos dentro de sus instalaciones. Estas empresas, encabezadas por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (P.N.U.D), Movistar, Hewlett Packard de Venezuela y Shell Venezuela S.A, se han encargado de establecer algunas medidas para su personal, tales como la segregación de desechos por tipo para su posterior reciclaje, impresión a dos caras y transmisión de información vía correo electrónico para disminuir el consumo de papel y/o reutilización de materiales. Pese a esto, no basta con que sólo 4 de las empresas que conforman la Torre HP den el ejemplo en cuanto a este tipo de comportamiento. Es necesario que se sumen esfuerzos y todas las empresas colaboren para lograr un resultado a gran escala con relación a la disminución de emisiones de gases efecto invernadero.

6.4. Emisiones de gases efecto invernadero

Las emisiones anuales de gases efecto invernadero por actividades y sistemas en la edificación fueron las siguientes: **4.627,47 Ton CO₂/año; 12,05 Ton NO_x/año y 5,80 SO_x/año**, repartidas porcentualmente por actividad y tipo de emisión como sigue en la tabla 5:

Tabla 5. Distribución porcentual de emisiones de GEI

	% CO ₂ /año	% NO _x /año	% SO _x /año
Ocupación	50,49	-	-
Aire acondicionado	16,51	34,85	34,83
Bombas	0,80	1,66	1,72
Otros (estimada)	13,31	28,13	28,10
Iluminación	7,77	16,43	16,38
Ofimática	7,51	15,85	15,86
Otros equipos	1,46	3,07	3,10
Desechos*	2,14	-	-
TOTAL EMISIONES	100,00	100,00	100,00

(Fuente. Elaboración propia)

* Estas emisiones no contemplan desechos orgánicos, papel higiénico, ni servilletas, debido a que no están dentro del alcance de la calculadora empleada. Esto hace que el resultado final sea un poco mayor al reflejado.

Como puede observarse, el mayor porcentaje de emisiones lo representa el CO₂ expulsado por la respiración humana; sin embargo el mismo es parte de un proceso natural, absorbido durante la fotosíntesis en las plantas y respiración (humana y animal), lo cual mantiene un balance adecuado de dichos niveles en la atmósfera. El problema se presenta cuando, a causa de la deforestación, los pocos árboles presentes no son capaces de absorber los niveles adecuados de CO₂, permitiendo que las cantidades expulsadas a la atmósfera aumenten.

Para el dióxido de carbono (4.627,47 ton CO₂/año), pudo obtenerse además una medida de la huella de los ocupantes del edificio, utilizando los indicadores de la calculadora “Carbon Footprint Calculator” (Fig. 8). Con ello, finalmente se determinó que la huella de carbono de los ocupantes de la Torre HP se encuentra en **3,29 ton CO₂**. La mitad de la media nacional, pero por encima del objetivo que se han propuesto muchos países, a través de acuerdos y negociaciones, que es alcanzar sólo 2 ton CO₂ por persona. Este resultado demuestra las conclusiones anteriores en cuanto a una operación eficiente del edificio, en comparación con otras edificaciones de oficinas en Venezuela.

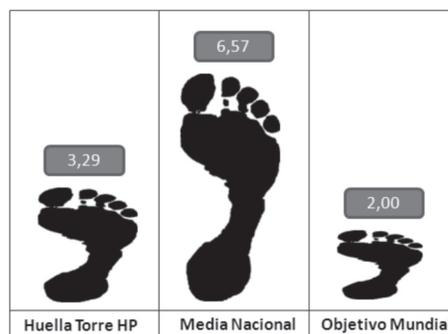


Fig. 7. Huella de CO₂ de la Torre HP (Fuente: elaboración propia con base en resultados de Carbon Footprint Calculator)

El análisis de todos los resultados obtenidos evidenció un comportamiento eficiente del edificio. Sin embargo hay que destacar la importancia de establecer algunos cambios para disminuir cada vez más los consumos de energía, agua y manejo de desechos en la edificación, sin comprometer la óptima satisfacción de las necesidades de los ocupantes.

6. PROPUESTA DE MEJORA

Luego del análisis de resultados obtenidos, si bien se determinó que el edificio opera dentro de parámetros eficientes, es importante señalar que aún así es posible pensar en medidas para aumentar dicha eficiencia sin llegar a comprometer la óptima satisfacción de las necesidades de los ocupantes. Para ello se propuso un plan basado en ocho actividades a desarrollar a corto, mediano y largo plazo, de acuerdo al monto de inversión requerido y el posible tiempo de ejecución. La propuesta planteada se muestra en forma esquemática en la Fig.10.

Básicamente consiste en ocho actividades distintas, orientadas a disminuir el consumo de energía del edificio a través de la iluminación, ofimática, otros equipos y búsqueda de nuevas alternativas de energía; así como una reducción del consumo de agua y mejor gestión en el manejo de desechos.

A corto plazo es posible llevar a cabo actividades enfocadas principalmente hacia la concientización

y cambios de conducta de los empleados, con una participación activa en todo lo relacionado al uso racional de la energía y buenas prácticas en torno al reciclaje. En el mediano plazo puede realizarse una instalación menor de sensores de presencia que permitan reducir el horario de funcionamiento de las luces. Por último, a largo plazo se proponen instalaciones mayores de equipos de tecnología avanzada, existentes dentro del mercado de productos eficientes.

Una nueva simulación del comportamiento del edificio bajo los parámetros propuestos permitió conocer los posibles ahorros y reducciones de GEI obtenidas con la realización de la Propuesta de Mejora. A través de una evaluación económica efectuada en un escenario sin inflación, para un período de estudio de tres años, y siguiendo el criterio de evaluación del Valor Presente Neto, se creó una tabla resumen de los resultados a obtener (Tabla 6), si se considerara cada nivel de la propuesta en forma aislada o si se realiza la misma en forma conjunta y progresiva (recomendado).

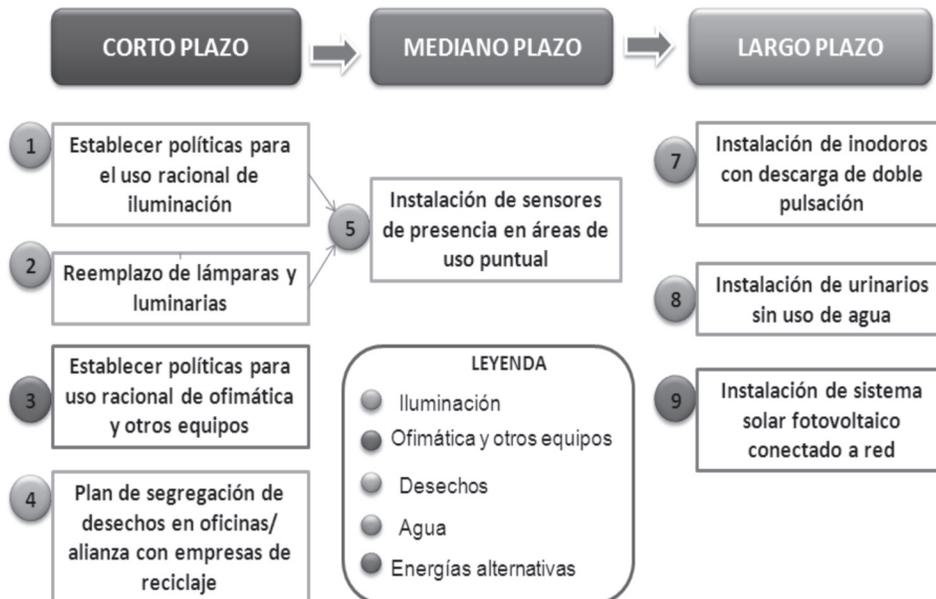


Fig. 8. Propuesta de Mejora para la eficiencia energética, el consumo de agua y el manejo de desechos, Torre HP. (Fuente: elaboración propia)

Tabla 6. Resumen de Resultados de la Propuesta de Mejora

	CARACTERÍSTICA	CORTO PLAZO	MEDIANO PLAZO	LARGO PLAZO
PROPUESTA POR NIVEL	Inversión inicial (BsF)	46.949	96.292	671.009
	Ahorro anual (BsF)	30.278	7.049	14.810
	VPN	33.171	-71.460	-610.511
	Reducción CO2 (ton/año)	157,23	35,38	
	Reducción NOx (ton/año)	0,32	0,19	Despreciable comparando con la Huella actual
	Reducción SOx (ton/año)	0,15	0,09	
DESARROLLO PROGRESIVO DE LA PROPUESTA	CORTO + MEDIANO PLAZO			
	Inversión inicial (BsF)		143.241	
	Ahorro anual (BsF)		34.617	
	VPN		-21.690	
	Reducción CO2 (ton/año)		192,61	
	Reducción NOx (ton/año)		0,51	
	Reducción SOx (ton/año)		0,24	
	CORTO + MEDIANO + LARGO PLAZO			
	Inversión inicial (BsF)			814.339,93
	Ahorro anual (BsF)			49.427,3
VPN			-632.201	
Reducción CO2 (ton/año)			192,61	
Reducción NOx (ton/año)			0,51	
Reducción SOx (ton/año)			0,24	

(Fuente: elaboración propia)

7. CONCLUSIONES

Con el Trabajo Especial de Grado se logró realizar una evaluación y propuesta de mejora de la eficiencia energética, del consumo de agua y de la generación de desechos de la Torre HP, basada en la metodología desarrollada por el Centro de Asesoramiento Industrial. Esto como parte de una visión sustentable de los recursos que en Venezuela debe ser ampliamente desarrollada y practicada, siguiendo el ejemplo de otros países que ya han avanzado en este campo.

En relación a la metodología empleada, se concluye que este tipo de evaluaciones a edificios puede llevarse a cabo desarrollando herramientas orientadas al estudio de la variable o conjunto de variables de interés, teniendo en cuenta los parámetros de consumos (potencia y horarios de funcionamiento de los sistemas).

En cuanto a la evaluación de la situación actual y las cargas obtenidas, se puede afirmar que la edificación opera en forma eficiente, ya que los índices calculados se encuentran alrededor de los márgenes establecidos como referencia, y no se observó un comportamiento atípico en relación a los consumos promedios de energía para edificios de oficina, en donde los mayores consumos suelen ser por concepto de aire acondicionado, ascensores e iluminación. Algunos factores influyentes para alcanzar dicha eficiencia fueron los siguientes: uso de instalaciones y sistemas de bajo consumo de energía y agua, realización continua de mantenimientos preventivos a las instalaciones y programación automática diaria para la operación de los sistemas, que disminuyen pérdidas y sobrecargas, aumentando la vida útil de los mismos.

Aun en un escenario eficiente como el mostrado, es posible aplicar medidas a corto, mediano y largo plazo, para mejorar aún más la eficiencia energética, consumo de agua y manejo de desechos, así como reducir los gastos de facturación por los servicios mencionados.

Lamentablemente, para Venezuela algunas de estas medidas no son económicamente rentables, pues implican inversiones muy elevadas con poco retorno de dinero al corto plazo. Al mismo tiempo el bajo costo del servicio eléctrico resta valor a cualquier ahorro, así como interés en modificar los patrones de consumo actuales, caracterizados muchas veces por el despilfarro. Sin embargo debe tomarse en cuenta que el clima de incertidumbre político-económica

que vive el país puede generar cambios, tales como una liberación de precios o nuevos impuestos, entre otros, que podría obligar a un cambio de actitud ante el escenario estudiado.

Aunque de manera general la Propuesta no sea económicamente rentable, hay que recordar que todas las actividades planteadas están enfocadas hacia la reducción de consumos y mejores prácticas dentro del edificio, para disminuir las emisiones de GEI. Por lo tanto el criterio de decisión para el desarrollo de este tipo de proyectos debería ser si contribuyen o no a la reducción de dichas emisiones a la atmósfera, recordando la gran importancia y la necesidad en la toma de acciones referentes a mantener la sustentabilidad del medio ambiente para futuras generaciones.

8. RECOMENDACIONES

Se indican a continuación varias recomendaciones adicionales, cuyos resultados no fueron cuantificados debido al alcance del T.E.G, pero que representan buenas prácticas en relación a eficiencia energética, ahorro en consumo de agua y sistema de manejo de desechos, además de contribuir a la eficacia de la Propuesta de Mejora planteada:

- Incorporar una estrategia de manejo de energía, agua y desechos como parte de la estructura organizativa de cada empresa, a fin de que sea parte de la cultura de la misma. Se requerirá la adecuada asignación de los recursos y presupuesto, necesarios para llevar a cabo los planes propuestos. Dicha estrategia debe comenzar por la creación de comités que se encarguen de coordinar, difundir y velar por el cumplimiento del Plan de Mejora y/o propuestas similares.
- Seguir realizando mantenimiento preventivo a las instalaciones en las fechas programadas, a fin de alargar la vida útil de los equipos e instalaciones.
- Establecer planes de monitoreo y control de históricos de electricidad y agua, con el propósito de determinar posibles alteraciones de los niveles normales de consumo, conseguir la causa del problema y atacarla lo antes posible.
- Utilizar criterios de compra verde para equipamiento de oficina, materiales y productos

- de limpieza, que sean energéticamente eficientes y no contaminantes.
- A nivel de empleados y actividades desarrolladas en toda empresa, poner siempre en práctica el criterio de las 4Rs:
 - **Reducir:** generar menor cantidad de desechos.
 - **Reciclar:** realizar segregación y recolección de desechos por tipo.
 - **Reutilizar:** aprovechar al máximo la utilidad de los materiales antes de que sean desechados.
 - **Repensar:** los procesos de producción y materiales utilizados, a fin de que puedan ser reciclados o reparados para alargar su vida útil.
 - Estar atentos ante interrupciones del servicio eléctrico. En estos casos es recomendable desconectar los equipos de oficina y volverlos a conectar una vez que el servicio se estabilice, pero siempre tomando en cuenta intervalos de 15 minutos entre cada conexión de tipo de equipo; esto puede evitar grandes gastos en facturación referente al cargo por demanda, ya que se minimizan los picos de KVA registrados por el arranque simultáneo de equipos. Cada oficina puede establecer su propio sistema en relación a cuáles equipos desconectar y el orden de re-conexión de los mismos.
 - Mantener abajo todas las persianas de las oficinas cuando sea posible. Esto hace que disminuya la entrada de energía proveniente de la radiación solar y reduce la conducción térmica a través de las ventanas, disminuyendo así el trabajo realizado por el sistema de aire acondicionado.
 - Evaluar en cada oficina la posibilidad de reemplazar el equipamiento de ofimática y otros equipos, por aquellos con etiqueta de eficiencia energética (Energy Star), indicativo de que esos equipos cumplen con los requisitos de eficacia energética que cualquier fabricante debe cumplir si considera respetuoso con el medio ambiente. Algunos datos interesantes sobre estos equipos son:
 - Los ordenadores calificados con la etiqueta “Energy Star” responden hasta por un 70% menos de emisiones de CO₂, derivadas del consumo eléctrico, en comparación con uno convencional que no cuente con un sistema de ahorro de energía.
 - Las fotocopiadoras eficientes Energy Star pueden ahorrar hasta un 40% en el consumo respecto de las convencionales.[12]
 - En relación a los ascensores, aunque no pudo cuantificarse el consumo de energía eléctrica de los mismos en el edificio, se le atribuyó un porcentaje significativo de consumos (dentro de la clasificación “otros”), además de conocer que los motores con los que trabaja son de tecnología antigua. Se recomienda evaluar la posibilidad de reemplazar dichos motores por otros de mayor eficiencia eléctrica y mecánica. Un ejemplo de ello son los motores de imán permanente desarrollados por Mitsubishi, que no requieren corriente de excitación y son capaces de entregar mayor eficiencia eléctrica y mecánica, a la vez que son más rápidos, más seguros y consumen menos energía que un motor convencional.
 - Otra buena práctica adoptada por algunos países es desconectar los ascensores durante las noches y fines de semana, dejando sólo en funcionamiento el ascensor de servicios preferenciales. Esto generaría un ahorro del consumo, aunque mínimo, referente a la iluminación y ventilación que requieren los ascensores aún cuando no están en uso.
 - Se recomienda por otro lado, establecer en todo el edificio una política para comenzar la sustitución del R-22 de los aires acondicionados que trabajan con él. Una opción es sustituirlo por el R-417A, ya que ambos refrigerantes son compatibles. En ese caso lo que debe hacerse es extraer el R22 del equipo, hacer un buen vacío y cargar el R-417A por fase líquida. No es necesario modificar ni realizar ningún cambio en la instalación; en algunos casos solamente es necesario ajustar la válvula de expansión [13].
 - Es importante tener en cuenta que algunas lámparas fluorescentes requieren para su funcionamiento pequeñas cantidades de vapores de mercurio y argón. Si estos tubos se rompen, se liberan cantidades de dichos vapores que pueden ser perjudiciales al organismo, además de altamente contaminantes del ambiente. Es por ello que se recomienda desarrollar un programa en alianza con alguna empresa encargada de la gestión de desechos

peligrosos, como por ejemplo: *Consortio Triumph*. Para lo cual se requiere que las lámparas fluorescentes, al final de su vida útil, sean recolectadas, y almacenadas en la Torre, debidamente identificadas como material peligroso y contactar a dicha empresa (u otra similar) para que se encargue de recoger estos desechos, garantizando el correcto manejo y disposición final de los mismos, evitando así la posible emisión de gases contaminantes dentro del edificio.

- Por último sería conveniente evaluar a fondo el alcance de cada actividad dentro de la Propuesta de Mejora, teniendo en cuenta posibles ampliaciones de éste y por tanto mayores beneficios.

La puesta en práctica de todas estas recomendaciones, conjuntamente con el desarrollo la Propuesta de Mejora planteada o actividades similares a ella, deben ser actualmente promovidas por todas las organizaciones e individuos, a fin de contribuir a aumentar la eficiencia de los sistemas, la optimización de los recursos y la preservación del medio ambiente, como medidas necesarias para el desarrollo sustentable de las sociedades.

REFERENCIAS DIRECTAS

- [1] Efecto Invernadero. Wikipedia [página web en línea]. Disponible: http://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_invernadero [Consulta 2009, enero 2].
- [2] Desarrollo Sostenible. Wikipedia [página web en línea]. Disponible: http://es.wikipedia.org/wiki/Desarrollo_sostenible [Consulta 2009, enero 5].
- [3] Eficiencia Energética. Construible.es [página web en línea]. Disponible: <http://www.construible.es/noticiasDetalle.aspx?c=22&idm=159&m=21&n2=20&pat=20> [Consulta 2009, enero 15].
- [4] Cambio Climático. Schlumberger Excellence in Educational Development (SEED) [página web en línea]. Disponible: http://www.seed.slb.com/es/scictr/watch/climate_change/co2.htm [Consulta 2009, enero 2].
- [5] Shell Real Estate (2008). *Energy Challenge @ Work, a Guide to Energy Efficiency at Shell*. [Documento en línea]. Disponible: [\[knowledge-tw2.shell.com/knowtw2/livelink.exe\]\(http://knowledge-tw2.shell.com/knowtw2/livelink.exe\) \[Consulta 2008, octubre 24\].](http://sww-</div><div data-bbox=)

- [6] Ministerio del Poder Popular para la Energía y el Petróleo. (2006). *Petróleo y otros datos estadísticos (PODE 2006)*. [Página web en línea]. Disponible: http://www.menpet.gob.ve/repositorio/imagenes/secciones/pdf_pode/pode_2006/PODE2006.pdf [Consulta 2009, septiembre 11].
- [7] Shell Real Estate (2008). *Energy Management Plans for Buildings*. [Página web en línea]. Disponible: <http://sww.shell.com/realestate> [Consulta 2008, diciembre 23].
- [8] Climate Change Emissions. Environmental Protection Agency (EPA). [Página web en línea]. Disponible: <http://www.epa.gov/climatechange/fq/emissions.html#7> [Consulta 2009, enero 10].
- [9],[10] Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (2002). *Guía de Operaciones de Ahorro en Energía Eléctrica en Edificaciones Públicas*. Caracas: UCV, pp 27-28.
- [11] Tarifas vigentes. La Electricidad de Caracas. [Página web en línea]. Disponible: <http://www.laedc.com.ve/CategoryDetail2.asp?CategoryId=10891&modulo=3&ArticleId=148896> [Consulta 2009, enero 22].
- [12] Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (2002). *Guía de Operaciones de Ahorro en Energía Eléctrica en Edificaciones Públicas*. Caracas: UCV, p 23.

REFERENCIAS INDIRECTAS

- [i] Aire Acondicionado. Gas-Servei, S.A. [Página web en línea]. Disponible: <http://www.gas-servei.com/faq/index.php?lang=es&id=aire#15> [Consulta 2009, febrero 18].
- [ii] Energy-Star. Consumo Responsable. [Página web en línea]. Disponible: <http://www.consumoresponsable.org/criterios/etiquetas/consumoenergetico2.asp> [Consulta 2009, febrero 18].
- [iii] Calderón, Julio. (2008). *Desarrollo de Herramienta Informática para Registro y Análisis de Datos en Auditorías Energéticas*. Tesis de Grado Universidad Simón Bolívar, Caracas.

- [iv] González, C. y Guerra, A. (2002). Proyecto de un Centro de Asesoramiento Industrial como Generador de Alternativas Para la Administración de Energía Eléctrica en Pequeñas y Medianas Plantas Industriales: Formulación y Evaluación”. Tesis de Grado Universidad Católica Andrés Bello, Caracas.
- [v] Quijada, P. M. (2008). Auditoría Energética en Instalaciones Eléctricas Industriales. Tesis de Grado Universidad Simón Bolívar, Caracas [Consulta 2009, enero 22].