

**Título:****ESTUDIO DE INDICADORES DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA OFICINA. CASO DE ESTUDIO: EMPRESA TRANSNACIONAL DE PETRÓLEO.****Autor (es), e-mail e Institución (es)**

- |  |
|--|
| <b>1. Autor: Wisam Ankah</b><br>Email: <a href="mailto:wisamqpp@hotmail.com">wisamqpp@hotmail.com</a><br>Institución: <b>Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, UCV</b>         |
| <b>2. Autor: Helmud del Portillo</b><br>Email: <a href="mailto:helmud_d@hotmail.com">helmud_d@hotmail.com</a><br>Institución: <b>Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, UCV</b> |
| <b>3. Autor: Giovanni Siem</b><br>Email: <a href="mailto:geovanni.siem@gmail.com">geovanni.siem@gmail.com</a><br>Institución: <b>IDEC/FAU/UCV</b>  |

**Descripción:****INTRODUCCIÓN**

El crecimiento de la demanda, aunado al congelamiento de tarifas y la falta de inversión en generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, perfilan el futuro de este servicio para Venezuela. Los expertos indican una crisis en generación en los próximos años, si no se hacen las inversiones necesarias, pero aseguran que en cuanto a transmisión y distribución el país ya está en crisis, lo que se evidencia en los apagones que se hacen más frecuentes.

Esta situación ha llevado a tomar medidas de racionamiento, así como también penalizaciones por parte de las compañías de distribución de energía eléctrica a través de cortes del servicio eléctrico. Estas medidas han afectado particularmente a los sectores residencial y comercial, los cuales representan 40% y 20% del consumo total.

Actualmente en Venezuela, no existen datos que permitan identificar el perfil real de consumo en edificios comerciales. Por esta razón se inició este Trabajo Especial, enfocado en determinar índices y el perfil de consumo energético en un edificio de oficinas, y proponer recomendaciones a los propietarios, usuarios y autoridades de planificación, para una adecuación a tendencias internacionales de consumo sostenible y con responsabilidad social.

La metodología de trabajo se basa en criterios de una oficina verde, de acuerdo a los 14 propósitos de la HQE (High Quality Environmental Standard).

**1. Planteamiento del Problema**

Entre los años 2002 y 2010 se ha intensificado el problema del suministro de electricidad en el país, debido al crecimiento de la demanda eléctrica que se viene dando acorde al crecimiento continuo de la población venezolana y la poca atención que se le ha dado a este requerimiento. Se han tomado medidas pocos viables para lograr que la población reduzca el consumo energético,

como por ejemplo la penalización a los clientes de este importante servicio donde toman como referencia el consumo promedio por mes, sin tener en cuenta la variación que pueda tener en los distintos meses del año y así como también el comportamiento estándar de consumo de los distintos tipos de espacios habitados.

El presente trabajo especial de grado, requisito fundamental para la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, se desarrolla en el marco de las áreas relacionadas con la conversión de energía, transferencia de calor e instrumentación, donde se estudiará el comportamiento energético de una edificación con tipología de oficinas y así arrojar indicadores de consumo energético, las cuales servirán como una guía del consumo estándar para las mismas. Así como también se traducirían en recomendaciones para el diseño arquitectónico y la dotación de instalaciones y equipos de edificaciones residenciales y de oficinas, basados en criterios de eficiencia de energía, cumpliendo así con las exigencias humanas fisiológicas, sociológicas, psicológicas y económicas. Al mismo tiempo debe preservarse la calidad de vida y la productividad de los usuarios.

En algunos casos, en Venezuela, los edificios para albergar las distintas funciones que la sociedad requiere, se construyen sin tener en cuenta las condicionantes climáticas. Las respuestas de diseño en general no permiten la optimización de los recursos convencionales utilizados para lograr el confort, lo cual lleva a incrementar excesivamente estos consumos o bien, ante la ausencia de recursos económicos, a someter a los ocupantes a situaciones de incomfort.

Un instrumento para poner en práctica la ecoeficiencia corporativa es la Oficina Verde, cuyo propósito es promover un cambio en los patrones de consumo para el manejo responsable de recursos de la oficina, agua y energía. Este proyecto, a través de las actividades de auditoría energética, diagnóstico de habitabilidad de espacios interiores y el diagnóstico de habitabilidad del entorno, permite proponer acciones para alcanzar una gestión ecoeficiente de recursos y un comportamiento ecológicamente responsable.

Se ha evaluado la calidad y consumo de electricidad por medio de la medición directa, con la ayuda de un software de simulación para edificaciones eQuest creado por la DOE (Departamento de Energía de los Estados Unidos) para poder compararlos con edificaciones que cumplan con los criterios de una oficina verde, para desarrollar una metodología confiable para la aplicación en otros tipos de edificios.

El proyecto ha sido firmado entre una empresa transnacional de petróleo asentada en Caracas y la UCV, a través de un convenio que se ejecutó por medio del Laboratorio de Habitabilidad y Energía del IDEC, el cual involucra actividades de docencia, investigación y extensión, y seguramente dará innovaciones como resultado. Se desarrollará como un caso de estudio de donde se derivará una metodología de trabajo y un modelo de articulación de la UCV con la sociedad, susceptible de ser reproducido con otras empresas, el Estado o las comunidades organizadas.

## **2. Objetivos**

### **Objetivo General**

Estudiar el consumo de energía eléctrica en una oficina de una empresa transnacional de petróleo, con la ayuda del simulador eQuest, a fin de definir sus indicadores de consumo, y de esta manera desarrollar una metodología de

trabajo para diagnóstico y evaluación del uso racional de energía en edificaciones en Venezuela

### **Objetivos Específicos**

- Diagnosticar el consumo de energía eléctrica de la oficina
- Establecer indicadores de consumo de energía eléctrica en las oficinas del Estudio de Caso seleccionado.
- Comparar estos resultados a los datos nacionales y a los indicadores internacionales de fuentes confiables.
- Contribuir a formar una base de datos confiable sobre indicadores de consumo en oficinas.
- Ofrecer recomendaciones que sean aplicables en el diseño, construcción y gestión de edificaciones energéticamente eficientes
- Desarrollar y validar una metodología de trabajo que pueda ser aplicable a otros estudios de casos en edificaciones de oficinas
- Extender esta experiencia y la metodología de trabajo a otros tipos de edificaciones: escuelas, centros de salud, centros deportivos, viviendas, comercios y otros

### **3. Alcances**

Se trata de un Estudio de Caso, referido a las oficinas de la sede de una empresa petrolera transnacional, ubicada en la Urbanización La Castellana, Caracas, Venezuela. Este trabajo está enmarcado en un proyecto de Oficina Verde, desarrollado por la Universidad Central de Venezuela, a través del Laboratorio de Habitabilidad y Energía, del Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción, de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo.

El tema escogido para llevar a cabo este trabajo especial de grado de Ingeniería Mecánica, forma parte del mencionado proyecto y apunta a suministrar datos importantes sobre el funcionamiento de estas oficinas en relación a la gestión de la energía. Abarca mediciones de consumo de energía eléctrica, como parte de las actividades del proyecto, y además mediciones de variables ambientales como temperatura, humedad relativa e iluminación.

Entre el consumo de energía y estas variables ambientales existe una correlación que determina también los niveles de consumo de energía eléctrica. A partir de estos valores determinar indicadores que permitan comparar el comportamiento de estas oficinas con otras en Venezuela y el mundo, de manera que se aporte datos sobre este comportamiento para poder establecer niveles de exigencia en cuanto a oficinas nuevas o remodeladas.

El uso de software de simulación como EQUSET permitió extrapolar el comportamiento de las oficinas a diferentes momentos o períodos de un año. A partir de este conocimiento amplio y detallado del comportamiento de las oficinas, por piso, por espacios completos, por espacios individuales, por orientación, por equipos, mobiliario y características espaciales, por períodos determinados del año, se podría establecer un perfil muy cercano a la realidad de estas oficinas. Esto arrojaría datos muy importantes para ubicar, por comparación, el rendimiento de estas oficinas en relación a otras en Venezuela y el mundo. Esto abre un campo muy importante de estudio, investigación y experimentación que puede extenderse a otras zonas de la ciudad, a grupos de oficinas por tipología, pero también esta metodología podría aplicarse a edificaciones nuevas o remodeladas, escuelas, hospitales, viviendas, comercios, y otras edificaciones especiales.

La base de este estudio puede encontrarse en los sistemas de certificación de

calidad de edificaciones, de carácter internacional, que en la mayoría de los casos se enfoca a exigir unos niveles mínimos de cumplimiento en términos de eco-construcción, eco-gestión, confort y salud. Estas exigencias están muy vinculadas con la gestión de la energía y esto se refleja a través de la interacción entre todos los objetivos perseguidos por el sistema de certificación a través de una matriz de relación que establece relaciones de estricto cumplimiento.

En este proyecto en especial hemos escogido como base de referencia el sistema francés HQE (Haute Qualité Environnementale), que tiene 14 propósitos u objetivos a cumplir. De los cuales nos enfocamos en el propósito número cuatro (4) que trata de la Gestión de la energía.

#### 4. Limitaciones

Con relación a la información básica necesaria para la obtención de los resultados de este Trabajo Especial de Grado, fue solicitada al personal de Torre Corp Banca y que consistía en documentos de proyecto, construcción, manuales de equipos y reportes de mantenimiento; es necesario señalar que la misma no estuvo disponible durante la ejecución del estudio. Por tanto, dicho trabajo fue ejecutado con base a la información obtenida mediante visitas técnicas guiadas por el personal de mantenimiento, a las diferentes instalaciones de la edificación y entrevistas, planimetría de las oficinas.

En el estudio se hizo difícil la búsqueda de datos climáticos horarios, los datos que suministraban los principales institutos meteorológicos eran muy costosos y en su gran mayoría estaban incompletos.

### Metodología:

#### 5. Método de la investigación

El método empleado para el desarrollo de este trabajo Especial de Grado, se baso en el método de Krick (1995) y Grech (2001), esquematizado en la figura 1

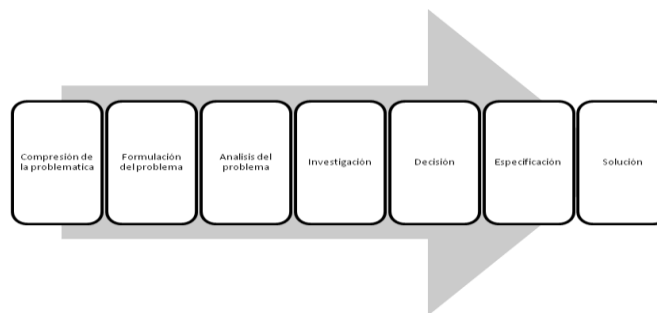


Figura 1. Proceso de la investigación. Fuente: (Zerpa, 2008, pág. 129)

#### 6. Diseño de la Investigación

Para poder cumplir los objetivos propuestos en este trabajo especial de grado, luego de haber cumplido con el proceso de investigación que hace referencia al tema, se procedió a la organización de la misma en seis (6) etapas; elaboración del marco referencial o teórico, a partir de la documentación encontrada y delimitación del objeto de estudio; toma de datos e inventario físico, la cual esta incluye todos los equipos y luminarias; medición del consumo en los tableros eléctricos principales dispuestos en cada uno de los pisos de oficina, esto con el fin de tener el consumo eléctrico de esta

misma; medición de las temperaturas de los espacios en las fachadas perimetrales en cada orientación, para poder ver si la oficina se encuentran dentro de los parámetros de habitabilidad; se estimó el comportamiento del consumo eléctrico de la oficina durante un año por medio de una herramienta computacional, con el fin de arrojar algunas recomendaciones para la disminución del consumo eléctrico de la oficina; y finalmente, establecer los indicadores que caracterizan el consumo eléctrico y así poder compararlos con los índices nacionales e internacionales, y así poder determinar si la oficina se encuentra dentro de los parámetros de una Oficina Verde.

## **6.1. Etapas de la Investigación**

### **6.1.1. Delimitación del objeto de estudio y elaboración del marco teórico relacionado**

En esta sección, se logra el desarrollo de los capítulos I y II, identificación y caracterización de la problemática y el desarrollo del marco teórico y referencial que le da soporte a este Trabajo Especial de Grado, como por ejemplo la determinación de los índices de consumo eléctrico nacionales e internacionales como comparación; la conceptualización y caracterización del objeto en estudio para así poder establecer las bases importantes para cada una de las etapas y componentes del proceso. Dado esto, para el desarrollo de esta metodología, nos basamos en la certificación francesa HQE, específicamente en el propósito número cuatro (4) que es la gestión del consumo de energía eléctrica.

### **6.1.2. Toma de datos e inventario físico**

En el desarrollo de la segunda etapa del proceso de investigación, se realizó varias visitas a la oficina para indagar acerca de las características de sus principales elementos y tener un conocimiento de como estaba conformada; orientación, clasificación de todos los espacios, estudio de la planimetría aportada por el personal de la empresa, equipos instalados en ellas, etc.

Para la recopilación de datos se realizaron unas series de actividades las cuales comprendieron inventarios de equipos, mobiliario y espacios, observaciones en sitio y entrevistas con el personal administrativo y técnico de la empresa.



Figura 2. Proceso de Obtención de Datos de la Oficina. Fuente: Elaboración Propia

### **6.1.3. Medición del consumo eléctrico en los tableros Principales de la Oficina**

Con el propósito de obtener el consumo eléctrico de la oficina y establecer sus indicadores, se tomaron lecturas a través de un analizador de redes por una (1) semana en cada uno de los tableros eléctricos que alimentan las cargas conectadas en la oficina, como lo son los tableros de la Unidades Manejadoras de Aire, de luminarias, de servicios generales, circuitos protegidos, etc.

### **6.1.4. Medición de las temperatura, humedad relativa y luminarias en las fachadas para todas las principales orientaciones**

En esta etapa del proceso se realizaron mediciones de temperatura y humedad relativa en las fachadas perimetrales y en las cuatro (4) coordenadas principales (Norte, Sur, Este y Oeste) en cada uno de los pisos de oficina, todo esto por un periodo de una semana en intervalos de diez (10) minutos. Con el fin de ver si los espacios cumplen con los parámetros de habitabilidad, tomando como base los estándares de acondicionamiento de aire. También se realizaron mediciones de la intensidad de iluminación (Lux) en los espacios de la oficina en cada uno de los pisos y en las distintas orientaciones, y así ver si cumple con las normas de Higiene y Seguridad en los puestos de trabajo.

#### **6.1.5. Estimación del comportamiento eléctrico anual de la oficina mediante una herramienta computacional**

En esta etapa del proceso de la investigación, se desea un estimado del comportamiento del consumo eléctrico en la oficina por un año, y también poder estimar las cargas térmicas presentes en cada una de los ambientes (piso 12, 13 y 14), para ello se utilizó una herramienta computacional llamada eQuest. Con el fin de modificar parámetros de diseño que no podemos realizar en la realidad y poder ver la variación de consumo eléctrico para así arrojar las recomendaciones para el buen desempeño de la Oficina en estudio y ayudar a dar ideas para la construcción de nuevas edificaciones de este tipo.

Durante el desarrollo de esta fase del trabajo también se pueden anexar las actividades que se estuvieron realizando para el aprendizaje del software eQuest. Así como también las del simulador del clima meteonorm 5.1 para obtener los datos climatológicos bases de este estudio.

#### **6.1.6. Índices de consumo Eléctrico de la oficina del caso de estudio**

En esta última etapa del proyecto, se procesa los datos obtenidos en las fases anteriores del proceso de la investigación con el fin de establecer los índices de consumo eléctrico que caracterizan a la oficina del caso de estudio, cumpliendo con todos los objetivos específicos planteados al principio del trabajo de investigación. Al culminar esta fase del proyecto podemos decir que se ha establecido una metodología de trabajo para ser aplicada a otros tipos de edificaciones.

### **6. 2. Instrumentos de recolección de datos**

Los instrumentos que se utilizaron para el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado fueron:

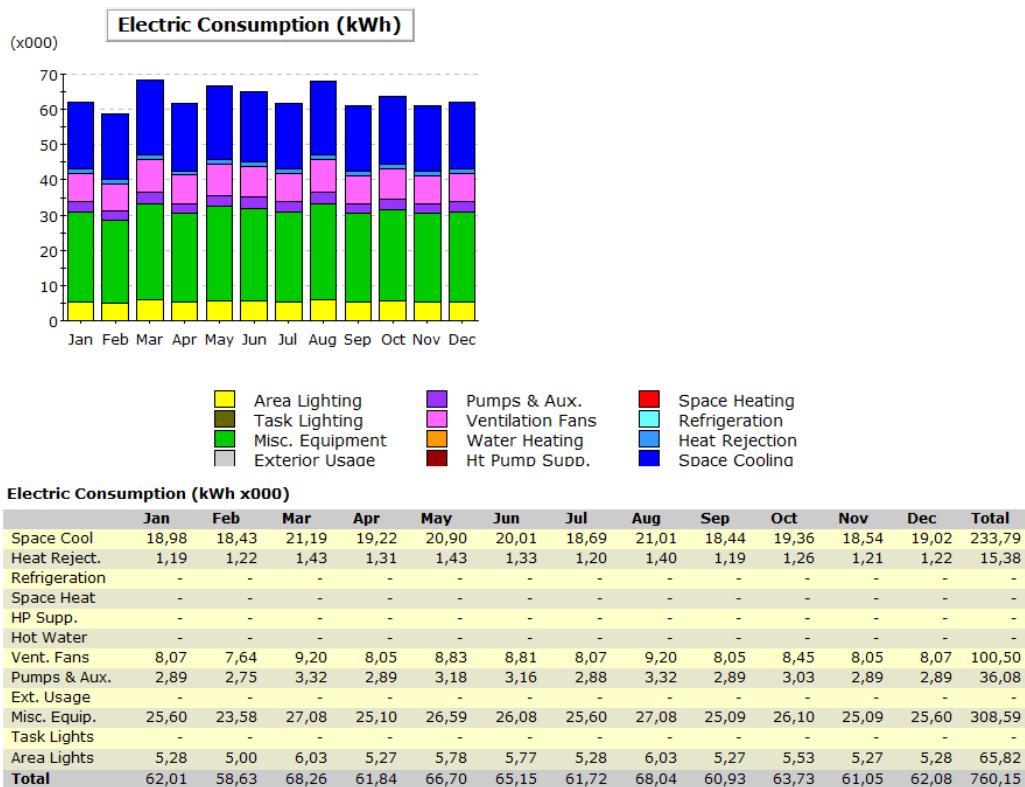
- Sensores marca HOBO, ONSET Technical Support, para medición de temperatura y humedad relativa.
- Luxómetro, marca HAGNER, Modelo EC 1, Parámetro a medir Lux
- Analizador de redes eléctricas marca Dranetz, modelo EPW1, para la medición del consumo eléctrico
- Cámara digital
- Distanciómetro digital
- Planos de arquitectura, instalaciones eléctricas, instalaciones mecánicas, instalaciones sanitarias.
- Simulador eQuest
- Meteonorm 5.1

## **Discusión y/o Resultados:**

### **7. Consumo eléctrico de la oficina mediante simulación (Caso Base)**

Después de haber ingresado todos los datos necesarios para la

simulación, se obtiene el comportamiento del consumo de la oficina por un año:



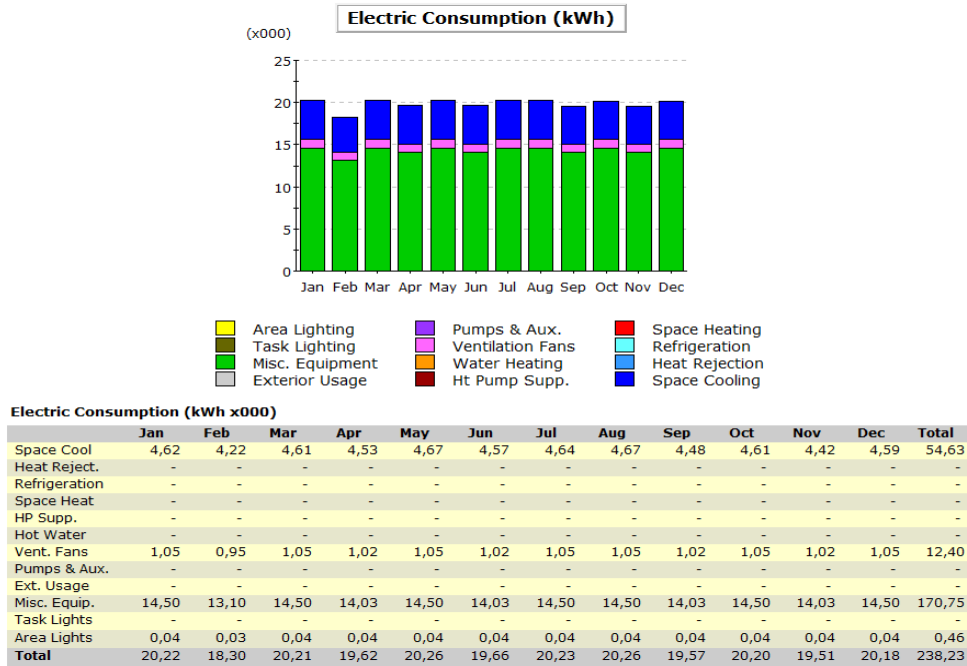
**Figura 3. Consumo eléctrico anual estimado de la Oficina del Caso de Estudio**

Donde se señala que el consumo de la planta de agua helada esta dada por las variables Space Cool (Equipos de Enfriamiento), Heat Reject (Torres de Enfriamiento) y sistema de Ventilación (vent. Fans), están dados por las variables Space Cool (Equipos de Enfriamiento) y Pumps y Aux (Sistema de Bombeo de la Planta de Agua Helada). Las cargas de todos los equipos presentes dentro de la Oficina está dado por Misc. Equip. Y las cargas por iluminación en Área Lights. Lo que totaliza un consumo anual estándar de la Oficina de 760,15 Mwh/año.

### 7.1 Estimación del consumo de Aire Acondicionado y Servidores de la Sala IT

Debido a que en los tableros del circuito protegido del piso 12 (Aire 2 de sala IT) y del 13 (Aire 1 + UPS y servidores de la sala de IT) se encuentran distintas cargas conectadas, se realizará un modelo para identificar cuanto sería el consumo eléctrico en aire acondicionado y en los servidores de esa sala.

De la misma forma que se realizó la simulación para determinar el consumo eléctrico en toda la oficina, se realizó un modelo similar dejando solamente acondicionada la zona correspondiente a la sala de IT (ambiente 7 del piso 13) con su sistema de aire acondicionado de expansión directa de 6 Toneladas y la densidad de carga [W/Pie2] de los servidores con su respectivo perfil de consumo.



**Figura 4 Consumo eléctrico anual estimado de la Oficina del Caso de Estudio**

El consumo en iluminación no entra dentro del circuito preferencial o protegido, no se tomará en cuenta, esto debido a que ya se habían tomado en cuenta en las cargas de iluminación en las simulaciones anteriores.

**Tabla 1 Consumo de energía Eléctrica estimado en aire acondicionado y servidores de la Sala IT**

Cargas	kWh/Mes
<b>Aire acondicionado IT</b>	5586
<b>Servidores</b>	14229
<b>Total</b>	19815

También en la simulación se pudo obtener las cargas térmicas que interactúan dentro de los espacios, estas se pueden ver en el anexo N° 10, están dadas por piso y por orientaciones.

El total de la carga Térmica presente resulta ser de 1058 KBTU/H lo que equivale a 88 Toneladas de Refrigeración. Si se compara con los 130 TR ya instalados en la oficina, se observa claramente que el sistema está sobredimensionado.

En estas tablas se observa que en las oficinas perimetrales de todo el edificio en las orientaciones Nor – Este, Sur – Este, Sur – Oeste, Nor – Oeste presentan la mayor demanda en carga térmica. Esto debido a que la radiación del sol durante el día irradia estas fachadas y se propaga al interior del espacio.

### 7.2 Consumo de energía eléctrica medidas en los pisos de la Oficina

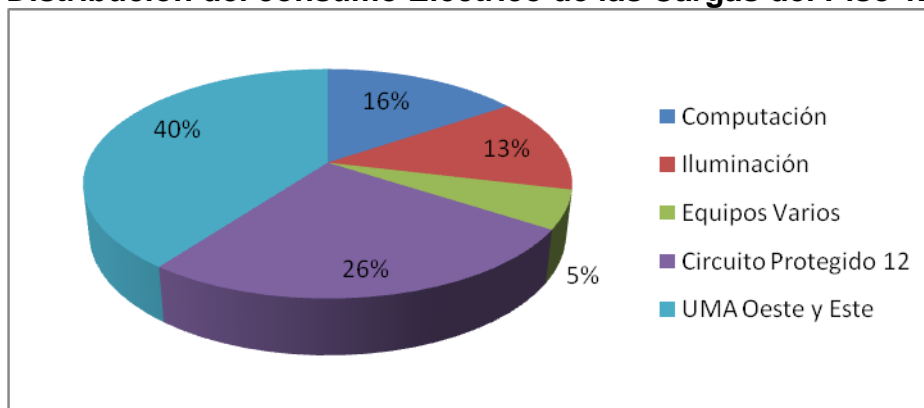
Por medio de las mediciones obtenidas en cada uno de los tableros eléctricos de los pisos de la oficina se pudo estimar el consumo eléctrico en kwh/mes, como se puede apreciar en la siguiente tabla.



**Tabla 2. Consumo Eléctrico mensual de la oficina por carga**

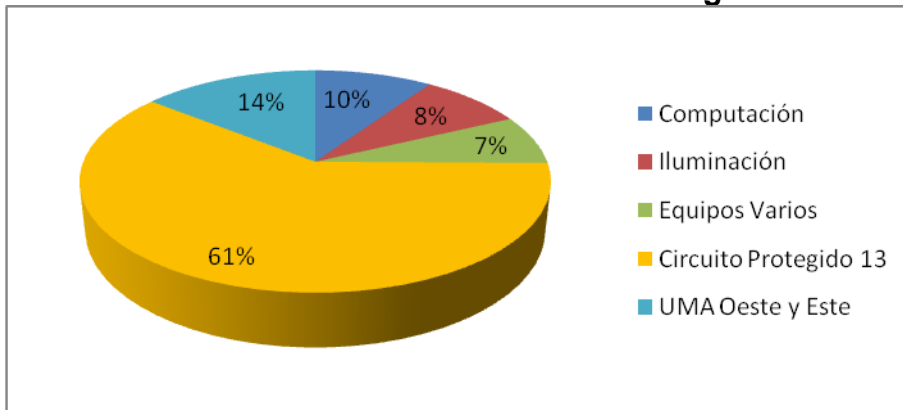
<b>Piso 12</b>		
<b>Carga</b>	<b>Consumo (kwh/mes)</b>	<b>%</b>
Computación	1998	15,5
Iluminación	1714	13,3
Equipos Varios	700	5,4
AA Sala IT 1	3362	26,0
UMA Oeste y Este	5140	39,8
<b>Consumo Promedio/mes</b>	<b>12915</b>	<b>100</b>
<b>Piso 13</b>		
<b>Carga</b>	<b>Consumo (kwh/mes)</b>	<b>%</b>
Computación	2623	9,6
Iluminación	2305	8,4
Equipos Varios	1978	7,2
UPS y AA Sala IT 2	16590	60,5
UMA Oeste y Este	3931	14,3
<b>Consumo Promedio/mes</b>	<b>27426</b>	<b>100</b>
<b>Piso 14</b>		
<b>Carga</b>	<b>Consumo (kwh/mes)</b>	<b>%</b>
Computación	1908	32,4
Iluminación	1865	31,7
Equipos Varios	731	12,4
UMA Oeste y Este	1386	23,5
<b>Consumo Promedio/mes</b>	<b>5890</b>	<b>100</b>

**Figura 5**  
**Distribución del consumo Eléctrico de las Cargas del Piso 12**



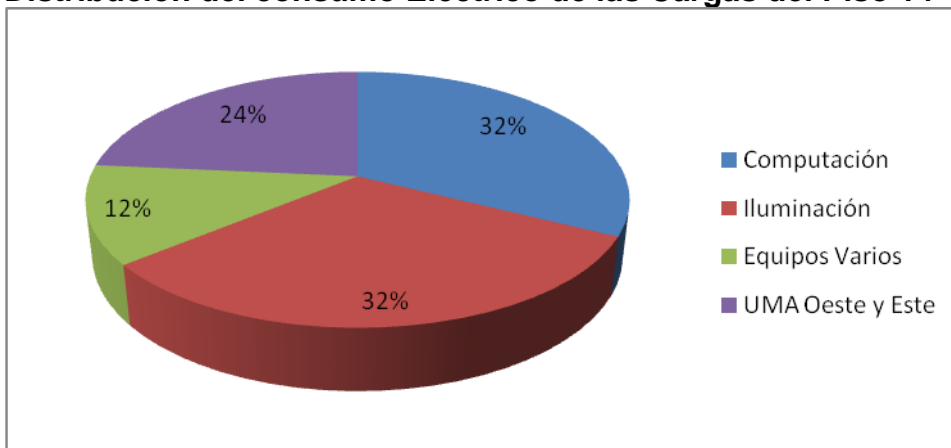
Se puede apreciar en el gráfico anterior que el mayor consumo eléctrico en el piso 12 de la oficina son los motores de los ventiladores de las Uma con un 40%, seguido por las cargas del Circuito Protegido de este piso donde se encuentra conectado uno de los Aires Acondicionados de la Sala IT, seguido están las cargas de los computadores con un 16% e iluminación con un 13%.

**Figura 6**  
**Distribución del consumo Eléctrico de las Cargas del Piso 13**



En el piso 13 el consumo eléctrico predominante es el del aire acondicionado de la sala IT junto a las cargas de los ups que alimentan a los distintos servidores con un 61% del consumo total del piso. Seguidamente vienen las cargas de las Unidades manejadoras de Aire, y los equipos de computación e iluminación con un 14%, 10% y 8% respectivamente.

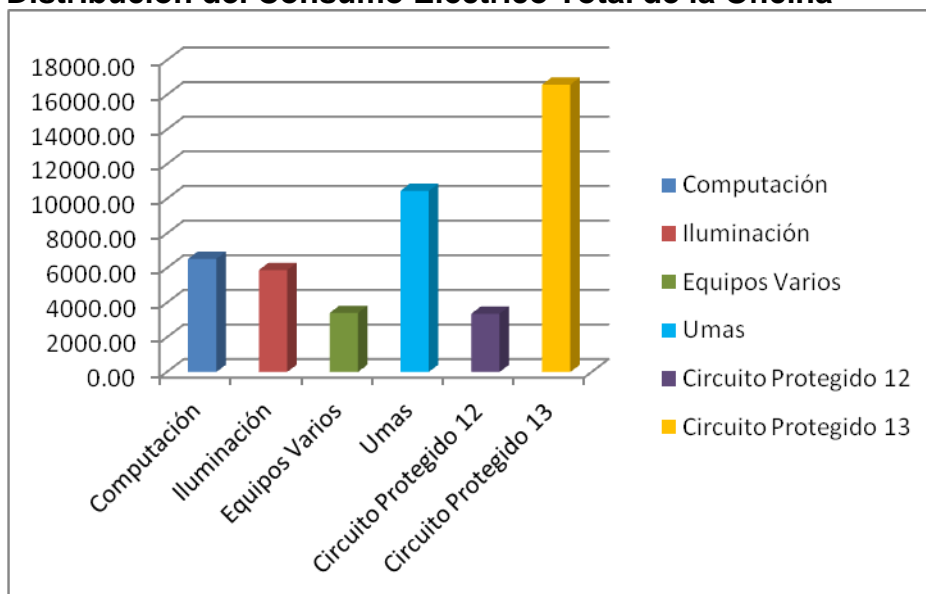
**Figura 7**  
**Distribución del consumo Eléctrico de las Cargas del Piso 14**



En el piso 14 se puede ver que el mayor consumo lo representa las cargas por iluminación y computación con 32% cada uno, seguido del consumo de las dos Uma con un 24%.

Generalizando el consumo total mensual de la oficina por carga conectada nos queda que:

**Figura 8**  
**Distribución del Consumo Eléctrico Total de la Oficina**



Se obtiene que el consumo mensual estimado de la oficina resulta ser de 46230,66 kwh/mes, en donde se puede ver que el mayor consumo lo representa el circuito Protegido del piso 13 donde esta conectado los servidores y uno de los Aires de la Sala It seguido de las cargas de los motores de las Unidades de manejo de aire con 10456,6 Kwh/mes.

### 7.3 Definición de los Indicadores de Consumo Eléctrico de la Oficina

Para establecer los indicadores de Consumo eléctrico de la oficina, tomamos como base el consumo en Aire Acondicionado, Iluminación, y los Equipos de Oficina que son los que mas destacan en un edificio de este tipo. Para un área de oficina de 3147 m<sup>2</sup>.

A la hora de establecer los indicadores [kwh/año.m<sup>2</sup>] lo ideal hubiera sido con los valores medidos, pero solo se podrán realizar en las cargas de iluminación y equipos de oficina (Equipos varios + Servidores de la sala de IT) ya que dentro del sistema de aire acondicionado se midió únicamente los motores de las unidades de manejo de aire, y como sabemos que este sistema de climatización es enfriado por una planta de agua helada se desea saber también el estimado de consumo equivalente de todo el sistema para esta oficina.

**Tabla 3. Consumo de energía Eléctrica Total por carga en la oficina obtenidos mediante las mediciones**

Carga	Consumo (kWh/mes)
Computación	6530
Iluminación	5884
Equipos Varios	3409
Umas	10457
Circuito Protegido 12	3362
Circuito Protegido 13	16590
<b>Consumo Total</b>	<b>46231</b>

Para el consumo final de energía eléctrica en aire acondicionado se

estimo mediante los resultados obtenidos por eQuest (Caso Base) anteriormente. Los valores de consumo en ventilación que se ven en la Tabla N° 29 se refieren a los ventiladores de las unidades de manejo de aire, la de los sistemas de expansión directa y la del sistema de inyección de aire fresco. A pesar de eso dan menor que el valor obtenido por las mediciones en las uma, esto es debido a que se pudo evidenciar en los gráficos de comportamiento del consumo eléctrico de las Umas medido por el Analizador de redes, que el periodo de operación de los motores de esas unidades se sobrepasan del horario de operación habitual, estando encendidos en algunos casos hasta las 11:00 p.m. En la simulación se estipulo que operan de 6:00am hasta las 6:00 p.m según lo hablado con el personal de mantenimiento de la oficina.

**Tabla 4. Consumo en Aire Acondicionado obtenido mediante eQuest**

Carga	kWh/Mes
Space Cool	19483
Heat Reject.	1282
Vent. Fans	8375
Pumps & Aux.	3007
<b>Total Aire Acond.</b>	<b>32146</b>

Se le adicionara a los equipos de oficina (Computación, Equipos varios) los valores obtenidos del consumo de los servidores en la sala IT (14229,17 kWh/mes) mediante el modelo que se realizo anteriormente para determinarlos.

Dicho esto, se recurre a determinar los indicadores de consumo de energía eléctrica [kWh/m<sup>2</sup>mes] y [kWh/m<sup>2</sup>año], para el sistema de Aire Acondicionado, Equipos de Oficina e iluminación.

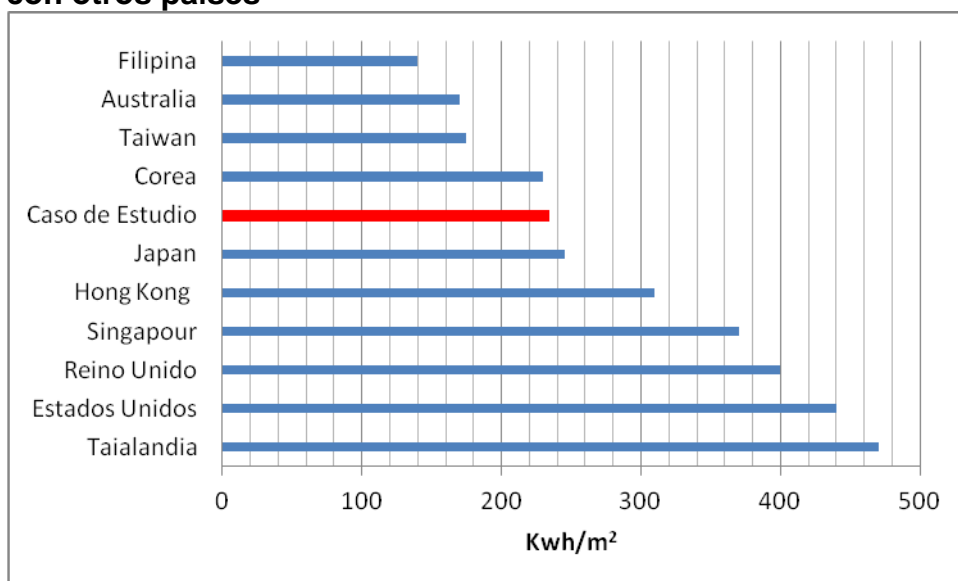
**Tabla 5. Índices de Consumo eléctrico obtenidos en Aire Acondicionado, Iluminación y Equipos de la Oficina.**

Carga	Kwh/Mes	kwh/m <sup>2</sup> mes	kwh/m <sup>2</sup> año
Aire acondicionado	3214	10,21	122,58
Equipos de oficina	24167	7,68	92,15
Iluminación	5884	1,56	18,68
<b>Total</b>	<b>62197</b>	<b>19,45</b>	<b>233,41</b>

Para estimar los indicadores por [kwh/m<sup>2</sup>año] multiplicamos cada uno de los [kwh/m<sup>2</sup>mes] de cada carga por doce (12). Estos indicadores de Aire Acondicionado y equipos de la oficina se tomaron en base al área Acondicionada pertenecientes a la oficina de 1049 m<sup>2</sup> y la carga en iluminación en base a 1260 m<sup>2</sup> ya que hay de estas cargas en el área central conectadas a los tableros de iluminación en el núcleo de cada piso no pertenecientes a la oficina.

Para empezar, comparamos nuestro caso de estudio con indicadores de consumo internacionales promedio en edificios de Oficinas, tomando en cuenta que son distintos lugares con climas diferentes, así como también las cargas que interactúan dentro de él. Por ejemplo, encontramos algunos lugares que tienen cargas por calefacción que el nuestro casi nunca presenta.

**Figura 9**  
**Indicador de consumo eléctrico promedio de la oficina en comparación con otros países**



De la Figura 9 se puede inferir que la oficina tiene un buen desempeño del consumo eléctrico en comparación con países desarrollados como lo son Estados Unidos, Reino Unido, Singapour, Hong Kong y Japón. Esto sin tomar en cuenta muchos factores como lo son las cargas de bombeo de aguas blancas y negras, cargas de equipos presente en los estacionamiento, ascensores, etc., siendo los más eficientes los países de Australia y las Filipinas.

También se comparó los valores del caso de estudio con indicadores internacionales de edificios de oficinas sustentables, para ello se escogió países que tuvieran en las mismas condiciones climáticas de caracas (Tropical – Subtropical), como lo son Hong Kong y Australia, estas comparaciones se pueden ver en la siguiente tabla:

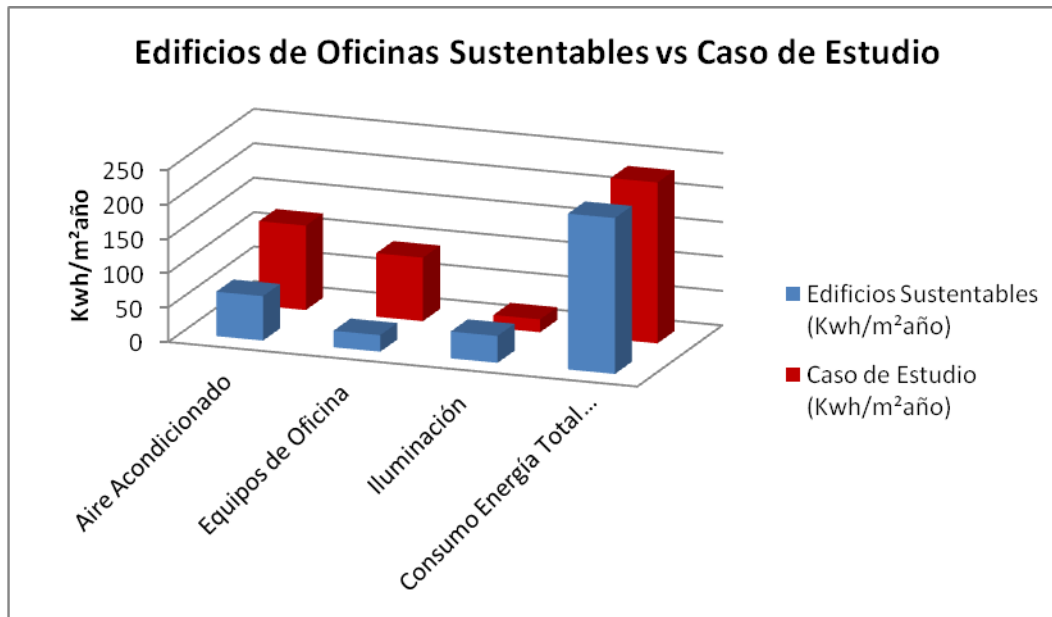
**Tabla 6. Comparación de los Indicadores de Consumo Eléctrico de la Oficina del Caso de Estudio con indicadores Internacionales de Edificios Sustentables (Australia y Hong Kong)**

Carga	Indicadores Internacionales (kwh/m²año)	Indicadores de la Oficina del Caso de Estudio (kwh/m²año)
Aire acondicionado	44-64,5	122,58
Equipos de oficina	24	92,15
Iluminación	27-39	18,68
Consumo Energía Total Prom	118-226	233,41

**Nota: Los Valores en Rojo significan que se encuentran fuera del rango**

Hay que señalar que estos valores fueron comparados con índices de oficinas energéticamente eficientes donde se puede ver que las cargas en aire acondicionado y equipos de oficina dan muy por arriba de estos, sin embargo en iluminación se puede decir que la oficina presenta un buen comportamiento, sabiendo que en el año 2010 a estas oficinas se le realizó un plan de ahorro energético en luminarias, ya que los valores están muy por debajo de los establecidos en comparación con los indicadores internacionales.

**Figura 10**  
**Comparación del Consumo Eléctrico del Caso de Estudio con Indicadores Internacionales de Edificios Sustentables**

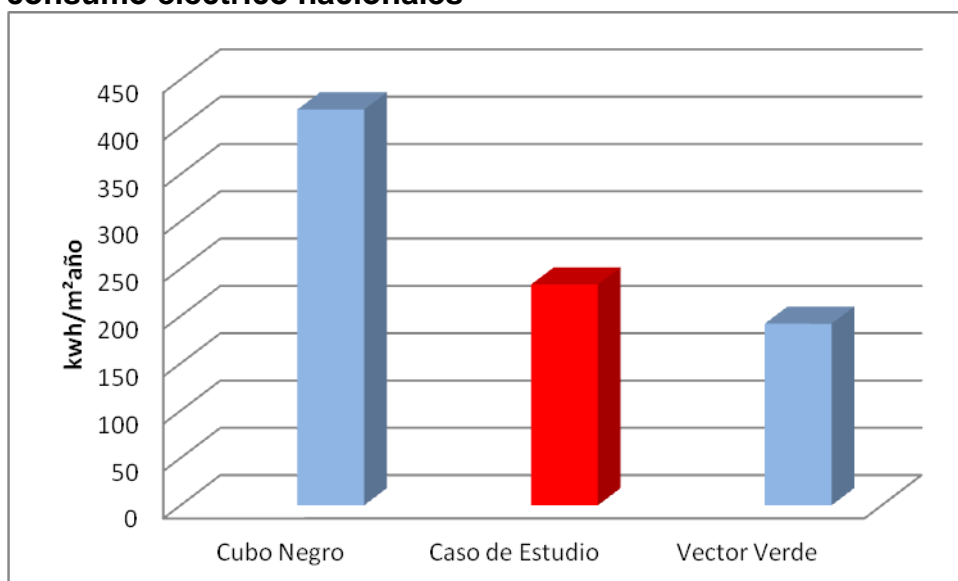


Para poder comparar los resultados con indicadores de consumo eléctrico nacionales se toma como punto de referencia las oficinas presentes del Centro Empresarial Cubo Negro que son energéticamente eficientes presentando un consumo eléctrico de 418,4 kwh/m<sup>2</sup>año y un indicador de 49m<sup>2</sup>/Ton en aire acondicionado bastante eficiente, en donde es común conseguir para este tipo de edificios en Venezuela un indicador de 20m<sup>2</sup>/Ton. En comparación a nuestro caso de estudio consumen el 55% menos con 233,41 kwh/m<sup>2</sup>año y 24m<sup>2</sup>/Ton de refrigeración lo que se podría decir que las oficinas presenta un consumo eficiente dentro de este ámbito. En el momento de comparar estos valores se tomo en cuenta únicamente los espacios de Oficina del Cubo Negro.

Ahora si tomamos un reciente proyecto de edificio de oficinas para ser construido en la Isla de Margarita de Venezuela (Vector Verde), en proceso de certificación LEED, arrojó valores estimados de 192 kwh/m<sup>2</sup>año, sabiendo que esta edificación posee sistemas ecoeficientes en cuanto a consumo eléctrico y tomando en cuenta las diferencias climáticas entre las dos regiones, se puede decir que la oficina de nuestro caso tienen un buen desempeño energético.

**Figura 11**

**Comparación de las oficinas del caso de estudio con indicadores de consumo eléctrico nacionales**



**7.4 Resultados de la Simulación de los distintos casos**

**Tabla 7. Casos Estudiados para el comportamiento eficiente de la Oficina**

ASO	Descripción	Cargas térmicas KBTU/h	% reducción de cargas *	% reducción de cargas
ase	Sin parasoles ni ventanas eficientes	1121	-	+6%
	Con parasoles verticales	1058	5,6	-
	Con parasoles horizontales	893	20,4	15,6
	Con ventanas eficientes	860	23,3	18,7
	Con parasoles verticales y horizontales	823	26,6	22,2
	Con parasoles verticales y ventanas eficientes	829	26,1	21,7
	Con parasoles horizontales y ventanas eficientes	753	32,8	28,8
	Con parasoles verticales y horizontales, y ventanas eficientes	720	35,8	32,0

Observando los valores en los cuadros comparativos, se hará un análisis para el caso del primer grupo (A, B y C) definidos anteriormente, que son los referentes a la optimización de la edificación en mitigación de cargas térmicas externas.

Las unidades de manejo de aire de la oficina de estudio suman una capacidad nominal de 130 Toneladas. Según el valor obtenido en el caso base (1058,05 Kbtu/h), las carga térmicas en la oficina serían unas 88,17 Ton, la

capacidad de enfriamiento de las unidades deberán de ser de 105 toneladas, eso es asumiendo un factor de seguridad del 20% para futuras ampliaciones. En los casos (A) y (B) se logra un comportamiento similar.

No vale la pena la implementación de ventanas de alta eficiencia (B) cuyo costo es muy elevado si con la utilización de parasoles horizontales (A) se logró obtener un ahorro en carga térmica similar.

El caso (C) logra reducir las cargas térmicas en un 32% aunque conllevaría un mayor costo obviamente, eso dependerá de la disposición de cada empresa en decidir su implementación.

**Tabla8. Reducción del Consumo de Aire Acondicionado para los distintos Casos**

Carga	Kwh/Mes				% de reducción		
	Caso base	A	B	C	A	B	C
Aire acondicionado	32,15	27,3	27,2	24,9	15	15,5	
<b>Total</b>	<b>63,35</b>	<b>58,5</b>	<b>58,4</b>	<b>56,2</b>	<b>7,63</b>	<b>7,9</b>	<b>11,3</b>

Se puede observar entonces que en los casos más relevantes para esta parte del estudio se consigue una reducción en el total del consumo de la edificación de un 7,63% (A) y en un 11,3 % (C).

Ahora se analizarán los casos I, II y III referidos a la implementación de variadores de velocidad en los motores de los sistemas de aire acondicionado. No está de más recordar que el caso I se refiere a la instalación de variadores de velocidades en las una, el caso II en el sistema de agua helada (motores de bombas y torre de enfriamiento) y en el caso III ambos sistemas.

**Tabla 9. Reducción del Consumo utilizando Variadores de Velocidad en los componentes del Sistema de Climatización**

	Kwh/Mes			
	CASO BASE	CASO BASE I	CASO BASE II	CASO BASE III
Equipo de climatización	19,48	18,60	17,45	16,81
Torre de enfriamiento	1,28	1,24	0,48	0,44
Ventilación	8,38	4,50	8,38	4,50
Bombeo	3,01	2,89	1,98	1,91
Equipos de oficina	25,72	25,72	25,72	25,72
Iluminación	5,49	5,49	5,49	5,49
<b>Total</b>	<b>63,35</b>	<b>58,43</b>	<b>59,48</b>	<b>54,86</b>
	<b>% de disminución de consumo</b>			
Aire acondicionado	-----	15,30	12,03	26,40
<b>Total</b>	-----	7,76	6,10	13,40

Se puede observar como disminuye el consumo en ventilación para el caso base I en un 46%, produciendo una disminución de un 15,3% el consumo en aire acondicionado y un 7,8% en el total.

En el caso II se reduce el consumo en los equipos de climatización presentes en un 10,4% debido al variador de velocidad en los chillers, siendo estos los responsables del 30% del consumo total del caso base, junto con el ahorro en torres de enfriamiento y sistemas de bombeo provocan una disminución del consumo de aire acondicionado de un 12% y 6% del total de la oficina.

El caso óptimo (caso III) logra disminuir un 26,4% el consumo en sistemas de aire acondicionado y un 13,4% menos del total.

En la Tabla N° 35 se muestra los consumos eléctricos en aire acondicionado y en el total de la oficina, también el porcentaje de ahorro que



estos producen para los casos de interés.

**Tabla 10. Consumo eléctrico en Aire Acondicionado para cada caso estudiado y porcentaje de ahorro**

	Consumo en Kwh/mes							
	Aire acondicionado				Total			
	I	II	III		I	II	III	
<b>Caso base</b>	32,2	27,23	28,28	23,66	63,35	58,43	59,48	54,86
<b>A</b>	27,3	24,88	24,71	22,50	58,51	56,09	55,92	53,70
<b>B</b>	27,17	24,70	24,57	22,35	58,37	55,90	55,77	53,55
<b>C</b>	24,97	23,31	23,36	21,33	56,17	54,51	54,56	52,53
	<b>% de reducción de consumo eléctrico respecto al caso base</b>							
<b>Caso base</b>	-	15,3	12,0	26,4	-	7,8	6,1	13,4
<b>A</b>	15,0	22,6	23,1	30,0	7,6	11,5	11,7	15,2
<b>B</b>	15,5	23,2	23,6	30,5	7,9	11,8	12,0	15,5
<b>C</b>	22,3	27,5	27,3	33,7	11,3	13,9	13,9	17,1

Para estos casos se puede obtener un ahorro desde el 6% (caso base II) hasta un 17% (caso c III) en consumo eléctrico.

Se puede observar que al instalar variadores de velocidades en las Umas (I) o en la planta de agua helada (II) la reducción en consumo es similar.

### 8. Conclusiones

Con en los resultados obtenidos durante el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado se puede inferir:

- El desarrollo de este trabajo especial de grado permitió obtener los indicadores de consumo de energía eléctrica en una oficina de una transnacional petrolera ubicada en La Castellana, Caracas, a través de mediciones y estimaciones con el uso de la herramienta computacional eQUEST.
- El estudio se realizó en un ambiente donde cumple con los requisitos de habitabilidad bajo condiciones de confort en temperatura y humedad relativa según la Norma Técnica de Prevención Española NTP#42 y con los niveles de iluminancia establecidos por COVENIN 2249.
- Se logró comparar los indicadores de consumo eléctrico con oficinas en Venezuela y en otros países y se determinó que la oficina del caso de estudio tiene un comportamiento relativamente eficiente.
- El indicador de consumo en iluminación es bajo debido a que la forma octogonal del edificio aunado con las grandes superficies de ventanales en las oficinas perimetrales permite una óptima entrada de luz natural hacia el interior. Estas oficinas perimetrales contienen cerramientos de vidrio traslúcido permitiendo también la iluminación hacia los pasillos y oficinas cercanas al núcleo en horas del día. Adicionalmente se implementó en el año 2010 un plan de reducción de consumo en donde se retiró alrededor de un tercio de la carga instalada en iluminación.
- Se observó que existen numerosos ambientes destinados a servir como oficinas y que están siendo utilizadas como depósitos y como cuartos de

poco uso. Esto es indicio de un uso irracional e ineficiente de la energía ya que las umas suplen un volumen de aire mayor al correspondiente.

- El consumo energético en edificaciones depende de su ubicación, diseño, funcionalidad e interacción con el entorno. Son factores que hay que considerar a la hora de comparar los índices de consumo.
- En Venezuela no hay suficientes indicadores de consumo eléctrico en edificaciones que permitan crear una base de datos útil a la hora de realizar comparaciones que permiten servir de referencia para ubicar el nivel de eficiencia energética en las edificaciones.
- Adicionalmente se empleó el software mencionado para ensayar varios casos hipotéticos donde buscan mejorar la eficiencia energética de la edificación en los cuales se emplean métodos de bloqueo solar y se optimiza el sistema de aire acondicionado.
- Los simuladores de consumo de energía en edificaciones son herramientas que permiten hacer análisis en varios escenarios, en donde se identifican factores y condiciones determinantes útiles para realizar pronósticos del consumo de la energía, permitiendo la concepción y el diseño de edificaciones energéticamente eficientes de una manera relativamente rápida y económica.
- Existe un déficit a la hora de conseguir una base de datos climática confiable en Caracas y en otros estados, siendo estas requeridas por numerosos tipos de simuladores en donde se realizan estudios vinculados con la energía.
- Esta investigación podrá ser utilizada como referencia a la hora de realizar los estudios de indicadores en edificaciones de oficinas o de cualquier otra tipología.

#### **Referencias bibliográficas y/o bibliografía:**

1. Fehr, R. (Mayo 2009). "Guide to Building Energy Efficient Homes". Disponible en: <http://www.bae.uky.edu/energy/residential/guide/english/Guide.pdf>
2. ASHRAE, A.S. (1999). "Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality". ANSI 62-1989.
3. Conserjería de economía y hacienda comunidad de Madrid. (2009). "Manual de Auditorías Energéticas". Disponible en: <http://www.camaramadrid.es/asp/pub/descargas/aedie.pdf>
4. Avelar, V. (2003). "Calculo de requisito total de potencia para los Centros de Datos". Informe Interno N°3.
5. Westaway, C. (Sin fecha). "Cameron Hydraulic Data". 16ta Edición. U.S.A. Editorial Ingersoll-Rand.
6. Cohen, M. (1999). "Apuntes de Aire Acondicionado". Caracas, Venezuela. 10ma Edición. Tomo I y II.
7. Carrier. (1980). "Manual de Aire Acondicionado". Barcelona, España. 1era Edición. Editorial Marcombo.
8. Covenin. (1993). "Iluminación en tareas y áreas de Trabajo". Caracas, Venezuela. 2249-93

9. Cheng, C., Pouffary, S., Svenningsen, N., Callaway, M. (2008). "The Kyoto Protocol, the clean development mechanism, and the Building and Construction Sector". Paris, Francia.
10. McQuiston, F (Sin fecha). "Heating, Ventilating and Air Conditioning Analysis and Design". U.S.A. 6ta Edición.
11. Directiva 2002/91/ce del Parlamento Europeo y del Consejo, (2002). "Eficiencia Energética de los Edificios". Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:001:0065:0065:ES:PDF>
12. González, M. (Sin fecha). "La calidad Térmica como componente en la eficiencia energética de las edificaciones". Maracaibo, Venezuela. Disponible en: <http://www.fundelec.gob.ve/drupal-6.14/sites/default/files/017%20TRABAJO.pdf>
13. Siem, G. (2002). "Ahorro de Energía Eléctrica en Edificaciones Públicas". Caracas, Venezuela. Disponible en: <http://www.fau.ucv.ve/idec/pdf/guiaahorroener.pdf>
14. Kuri, J. (2008). "Legislación y normalización en materia de eficiencia energética en la vivienda". México. Disponible en: <http://www.slideshare.net/PerlaMacedo/eficiencia-energetica-en-vivienda-10310974>
15. Power troll . (2005). "Evaluación General Torre Corpbanca y evaluación sísmica de Torre residencial". Caracas.
16. Rasmussen, N. (2003). "Cálculo de los requisitos totales de refrigeración para centros de datos". Estados Unidos. Disponible en: [http://www.apc.com/prod\\_docs/results.cfm?DocType=White%20Paper&Query\\_Type=10](http://www.apc.com/prod_docs/results.cfm?DocType=White%20Paper&Query_Type=10)
17. Siem, G. (2010). "Diagnóstico de Línea Base para el Diseño de una política y manual de buenas prácticas de las Oficinas de Total Oil and Gas". Caracas
18. Siem, G. & Sosa Griffin, M. E., (2008). "Desarrollo de metodología para auditoría energética de edificaciones universitarias. Estudio de Caso: Edificio de la Facultad de arquitectura y Urbanismo de la UCV". Caracas.
19. Sosa, M. E. (2008). "Desarrollo de un método paramétrico para determinar índices de eficiencia energética para fachadas en edificios con acondicionamiento activo". Caracas.
20. Secretaría de Estado de Energía, desarrollo industrial y de la pequeña y mediana empresa. (Junio, 2003). "Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012". España.
21. UNEP. (2007). "Buildings and Climate Change". Paris, Francia. Disponible en: [www.unep.fr/pc](http://www.unep.fr/pc)