

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

*Auditoría Energética del Edificio C de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de  
Costa Rica*

**Proyecto de graduación sometido a la consideración de la  
Escuela de Ingeniería Química  
como requisito final para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería Química**

**Oscar Valverde Sánchez**

**Ciudad Universitaria “Rodrigo Facio”**

**San José, Costa Rica**

**2014**



**Tribunal examinador**

PROYECTO DE GRADUACIÓN SOMETIDO A LA CONSIDERACIÓN DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA COMO REQUISITO FINAL PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA

Sustentante

**Oscar Valverde Sánchez**

Aprobado por:

  
Ing. Esteban Duran Herrera, Ph.D.  
Director Escuela de Ingeniería Química  
Escuela de Ingeniería Química, UCR

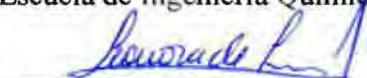
Presidente del Tribunal

  
Ing. Carlos Cartín Caballero  
Profesor Escuela de Ingeniería Química  
Escuela de Ingeniería Química, UCR

Director del Proyecto

  
Ing. Manuel Molina Córdoba  
Profesor Escuela de Ingeniería Química  
Escuela de Ingeniería Química, UCR

Miembro Lector

  
Ing. Leonora De Lemos Medina, M.Sc.  
Profesor Escuela de Ingeniería Mecánica  
Escuela de Ingeniería Mecánica, UCR

Miembro Lector

  
Ing. Adolfo Ulate Brenes, M. Sc.  
Profesor Escuela de Ingeniería Química  
Escuela de Ingeniería Química, UCR

Miembro Invitado



*“El peligro radica en que nuestro poder para dañar o destruir el medio ambiente, o al prójimo, aumenta a mucha mayor velocidad que nuestra sabiduría en el uso de ese poder*

**-STEPHEN HAWKING**



## **DEDICATORIA**

Dedicado a mis padres, a mi hermano, y a mis abuelos, cuyos valores, ayuda, paciencia y enseñanzas acerca de la vida hicieron posible la realización de este trabajo.



## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por darme la fortaleza necesaria a lo largo de la carrera.

A mis padres y a mi hermano por la paciencia y los consejos.

A mis abuelos por que sin su sabiduría no hubiera podido llegar a este punto.

Al Ingeniero Adolfo Ulate por tenerme la confianza de asignarme este proyecto.

Al Ingeniero Carlos Cartín por la paciencia y los consejos suministrados a lo largo de las etapas del proyecto.

Al Ingeniero Gustavo Montalvo y a todas las personas que trabajan en la sección de Mantenimiento y Construcción por la paciencia y ayuda técnica suministrada durante la parte experimental del proyecto.

A la Ingeniera De Lemos cuya contribución y guía en el proyecto fue de gran valía.

Al Ingeniero Manuel Molina por su paciencia y tiempo suministrado para la realización del proyecto.

Al Decano Edwin Solórzano por la ayuda suministrada y préstamo del equipo necesario para la realización del proyecto.

A la Señora Hellen Pessoa y a todo el personal administrativo del decanato de la facultad de ingeniería por su colaboración en cuanto a los permisos, autorizaciones contactos, etc.

A la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Costa Rica por el préstamo del equipo.

A todas las personas que trabajan dentro del edificio cuya disposición, paciencia y amabilidad fueron necesarias a lo largo de la auditoría.

A mis compañeros de carrera que más que amigos fueron una familia durante toda esta gran experiencia.



## RESUMEN

En vista de los próximos aumentos en los consumos y demandas energéticas previstas para el país en años venideros, se vuelve necesario eliminar el despilfarro energético en establecimientos de alto consumo y aprovechar todo el potencial de ahorro energético que se tiene en el país.

Las auditorías energéticas constituyen la piedra angular de los sistemas de gestión energética y sus correspondientes programas de ahorro. El presente trabajo se refiere a la aplicación de una auditoría energética del tipo estándar con un análisis de nivel II sobre el Edificio C de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica.

Se determinó un EUI de 54,5 (kW-h/m<sup>2</sup>\* año) como una medida actual del desempeño energético del edificio. Al compararlo con los índices de otros edificios con finalidad similar al inmueble auditado, se logró establecer que el edificio se encuentra entre los edificios con mejor desempeño energético, en cuanto a energía eléctrica se refiere.

Se determinó que las demandas máximas del edificio se encuentran en los meses de marzo, abril y mayo, debido a una combinación entre la ocupación del edificio y los factores climatológicos que llegan a afectar el uso del equipo de acondicionamiento climático

A través de la medición experimental con el equipo Fluke 435 se encontró un consumo semanal de 2 027,60 kW-h en períodos de baja ocupación y de 3 161,00 kW-h en períodos de alta ocupación. Así mismo se determinó un consumo diario máximo para los mismos períodos de 436,42 kW-h y de 576,67 kW-h respectivamente.

Se consideró otra serie de parámetros como demanda máxima, factor de potencia y factor de carga, los cuales son parámetros de la calidad de la energía suministrada al edificio, así como de su correcto manejo y manipulación.

Para determinar posibles mejoras y verificar los usos de los sistemas de iluminación y aire acondicionado se levantaron los perfiles semanales de temperatura, humedad relativa e intensidad luminosa en las áreas con mayor carga instalada del inmueble

Se evaluó financieramente y se determinó un paquete de opciones de conservación de energía con un potencial ahorro energético anual de 43,88 %, equivalente a 65 434,47 kW-h, un ahorro monetario anual de ₡ 1 668 886,25 y una inversión total de ₡ 2 728 474,00.

Implementando las opciones de conservación de energía discutidas en este trabajo se obtiene un nuevo EUI de 30,57 (kW-h/m<sup>2</sup>\*año), lo cual indica un porcentaje de mejora en el desempeño energético del edificio de hasta 43,96 %.



## ÍNDICE GENERAL

EPÍGRAFE .....	i
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	v
RESUMEN .....	vii
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO NACIONAL .....	1
1.1 Consumo energético nacional; sectores de consumo y fuentes de energía .....	1
1.2 Potencial de ahorro energético .....	4
CAPÍTULO 2: AUDITORÍAS ENERGÉTICAS EN EDIFICIOS .....	7
2.1 Sistema de gestión energética, programas de ahorro energético y auditorías energéticas según la ISO 50001 .....	7
2.2 Auditorías energéticas aplicadas a edificios .....	10
2.3 Tipos de auditoría energética en edificios .....	11
2.3.1 Análisis preliminar; preauditoría .....	11
2.3.2 Análisis de nivel I; auditoría de paso o in-situ .....	12
2.3.3 Análisis de nivel II; auditoría energética estándar .....	12
2.3.4 Análisis de nivel III; auditoría energética detallada .....	13
2.4 Procedimientos de una auditoría energética a edificios .....	13
2.4.1 Análisis preliminar .....	13
2.4.2 Análisis de nivel I .....	14
2.4.3 Análisis de nivel II .....	15
2.4.4 Análisis de nivel III .....	16
CAPÍTULO 3: EQUIPOS DE CONSUMO EN UN EDIFICIO COMERCIAL .....	17
3.1 Sistemas de iluminación .....	17
3.1.1 Sustitución de tecnologías de iluminación .....	19
3.1.2 Optimización de la luz según el espacio de trabajo espacio y optimización de la luz natural .....	21
3.1.3 Sistemas de control de iluminación .....	22

3.2 Equipo HVAC .....	24
3.2.1 Sistemas de enfriamiento o aire acondicionado.....	25
3.2.2 Otros equipos HVAC.....	31
3.3 Cargas de conectores eléctricos (“Plug loads”).....	33
3.3.1 Equipo de oficina .....	33
3.3.2 Equipos de refrigeración .....	34
CAPÍTULO 4: CONCEPTOS GENERALES DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA .....	35
4.1 Consumo eléctrico .....	35
4.2 Demanda eléctrica .....	35
4.3 Potencia activa.....	36
4.4 Potencia reactiva.....	36
4.5 Potencia aparente.....	36
4.6 Factor de potencia.....	36
4.7 Factor de carga.....	38
CAPÍTULO 5: MARCO METODOLÓGICO .....	41
5.1 Metodología experimental.....	41
5.1.1 Descripción del comportamiento general del edificio e inventario general del equipo.....	41
5.1.2 Obtención de un perfil de consumo de energía.....	42
5.1.3 Obtención de perfiles de confort térmico y lumínico .....	43
5.2 Evaluación financiera de las oportunidades de conservación de energía.....	44
5.2.1 Criterios de aceptación del proyecto.....	45
5.2.2 Datos financieros utilizados.....	46
CAPÍTULO 6: RESULTADOS Y HALLAZGOS DE LA AUDITORÍA .....	49
6.1 Descripción general del edificio .....	49
6.2 Análisis tarifario .....	54
6.3 Análisis del consumo energético .....	56
6.4 Análisis de la demanda .....	61
6.5 Factor de carga.....	72
6.6 Factor de potencia.....	74
6.7 Distribución y uso finales de la energía.....	80
6.8 Equipo de oficina.....	83

6.9 Sistema de iluminación .....	84
6.9.1 Equipo y eficiencia .....	84
6.9.2 Confort lumínico .....	87
6.10 Equipos de aire acondicionado.....	90
6.10.1 Confort térmico .....	90
6.10.2 Equipo y eficiencia .....	96
<b>CAPÍTULO 7: OPORTUNIDADES DE CONSERVACIÓN DE ENERGÍA .....</b>	<b>101</b>
7.1 Recomendaciones generales (RG) para la optimización del comportamiento energético del inmueble .....	101
7.2 Oportunidades de conservación de energía de nivel I (OCE-I) .....	102
7.2.1 OCE-I #1: Eliminar utilización de luces de pasillos en períodos de no ocupación del edificio .....	102
7.2.2 OCE-I #2: Reducción de las cargas parasíticas del edificio.....	103
7.3 Oportunidades de conservación de energía de nivel II (OCE-II).....	104
7.3.1 OCE-II #1: Sustitución de lámparas T12 con balastro electromagnético a sistemas de luminarias más eficientes .....	104
7.3.2 OCE-II #2: Instalación de sensores de ocupación en pasillos y baños.....	110
7.3.3 OCE-II #3: Instalación de polarizado reflexivo en los laboratorios de computación. ....	111
7.3.4 OCE-II #4: Sustitución de computadoras tipo desktop por laptops. ....	120
7.4 Oportunidades de conservación de energía de nivel III (OCE-III).....	122
7.4.1 OCE-III#1. Valorar un rediseño en el sistema completo de iluminación.....	122
7.5 Evaluación del paquete de OCEs y su impacto en el EUI .....	123
<b>CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>127</b>
8.1 Conclusiones .....	127
8.2 Recomendaciones.....	129
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>131</b>
<b>NOMENCLATURA .....</b>	<b>135</b>
<b>APÉNDICES .....</b>	<b>137</b>
A. Resultados experimentales y datos recopilados.....	139
B. Resultados intermedios.....	155
C. Muestra de cálculo .....	162



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
1.1	Distribución del consumo energético nacional	2
1.2	Distribución del consumo de los derivados del petróleo	2
1.3	Distribución según la fuente de la producción de la energía eléctrica nacional	3
2.1	Ciclo PHVA para el sistema de gestión energética ISO 50 001.	9
3.1	Tipos de lámparas fluorescentes de uso común	20
3.2	Diferencia entre iluminación ambiental y de trabajo	21
3.3	Ciclo de compresión de vapor de equipos de aire acondicionado.	25
3.4	Equipo de aire acondicionado de ventana	26
3.5	Equipo de aire acondicionado compacto individual	27
3.6	Sistema de aire acondicionado tipo partido	28
3.7	Sistema de aire acondicionado partido con distribución por ductos	28
3.8	Funcionamiento de una unidad centralizada de aire acondicionado	29
4.1	Diferencia entre potencia instantánea y demanda.	35
4.2	Triángulo de potencia	37
5.1	Equipo analizador de energía Fluke 435	43
5.2	Hobo Data logger	44
6.1	Diagrama de distribución del primer piso	50
6.2	Diagrama de distribución del segundo piso	50
6.3	Diagrama de distribución del tercer piso	51
6.4	Diagrama de distribución del cuarto piso	51
6.5	Diagrama de distribución del quinto piso	52
6.6	Diagrama de distribución del sexto piso	52
6.7	Consumo de energía mensual registrado en los últimos 4 años para el medidor secundario	57
6.8	Consumo de energía mensual registrado en los últimos 4 años para el medidor principal	59
6.9	Demanda máxima mensual registrada en los últimos 4 años para el medidor principal	61
6.10	Curva de demanda semanal en período de baja ocupación	63
6.11	Curva de demanda diaria para el día lunes en período de baja ocupación.	64
6.12	Curva de demanda diaria para el día domingo en período de baja ocupación.	65
6.13	Curva de demanda semanal en período de alta ocupación	67
6.14.	Curva de demanda diaria para el día lunes período de alta ocupación	68
6.15	Curva de demanda diaria para el domingo lunes período de alta ocupación	70

<b>Figura</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
6.16	Porcentaje de factor de carga registrado en los últimos 4 años para el medidor principal	73
6.17	Curva de factor de potencia semanal en período de baja ocupación.	75
6.18	Curva de factor de potencia semanal en período de alta ocupación.	76
6.19	Diagrama de distribución del consumo diario del edificio.	80
6.20	Curva de intensidad luminosa semanal	86
6.21	Curva de intensidad luminosa diaria para el día lunes	87
6.22	Luminaria encontrada en el edificio	90
6.23	Curva de temperatura diaria para al día martes	92
6.24	Curva de humedad relativa diaria para el día martes	92
6.25	Curva de temperatura semanal	94
6.26	Curva de humedad relativa semanal	95
7.1	Correlaciones de SHGC para los tipos de vidrio utilizado	113
7.2	Ganancia de calor total debido a la radiación con los dos tipos de ventana	118

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
1.1	Potencial de uso de energías alternativas	4
1.2	Potencial de ahorro energético del país para el período 1999-2015	5
3.1	Valores recomendados de iluminación sugeridos por IESNA	19
3.2	Porcentajes de ahorro utilizando sistemas de control de ocupación según el área	23
5.1	Fórmula base para el inventario del equipo eléctrico.	42
5.2	Equipo de medición utilizado en la auditoría energética	44
5.3	Precios promedio de la Tarifa General 2007-2012	46
6.1	Tarifas vigentes, publicadas en la gaceta 190 del 1 de abril del 2014	54
6.2	Facturación mensual de los últimos cuatro años para el medidor secundario	57
6.3	Facturación mensual de los últimos cuatro años para el medidor principal	58
6.4	Índice de utilización de la energía para el edificio (EUI) para el año 2013	60
6.5	EEUI en edificios universitarios	60
6.6	Recopilación de datos climatológicos por mes.	62
6.7	Áreas de máxima demanda.	69
6.8	Horarios de clase de las áreas con mayor capacidad instalada	69
6.9	Resumen de parámetros registrados con el analizador de energía	72
6.10	Parámetros relacionados al factor de potencia en períodos de potencia máxima	78
6.11	Potenciales multas por bajo factor de potencia.	79
6.12	Consumos energéticos medidos y estimados para el lunes 14 de abril del 2014	81
6.13	Tipos de arreglos de luminaria fluorescentes encontrados en el inmueble	85
6.14	Niveles máximos de luminosidad artificial y LPDs para las áreas evaluadas	88
6.15	Condiciones de confort recomendadas por ASHRAE para el diseño de sistemas de climatización	91
6.16	Valores medios, máximos y mínimos encontrados de temperatura y humedad para las áreas de estudio	93
6.17	Parámetros de los equipos de aire acondicionado de mayor tamaño del inmueble	97
7.1	Potencial ahorro por implementación de OCE-I #1	102
7.2	Potencial ahorro por implementación de OCE-I #2	103
7.3	Costos de sustitución de arreglos T12 encontrados	106
7.4	Potencial ahorro por implementación de OCE-II #1 con tubos fluorescentes T8	107

<b>Cuadro</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
7.5	Potencial ahorro por implementación de OCE-II #1 con tubos LED T8	107
7.6	Evaluación financiera de la sustitución de T12 a T8 fluorescente.	108
7.7	Evaluación financiera de la sustitución de T12 a T8 LED	109
7.8	Potencial ahorro por implementación de OCE-II #2	110
7.9	Evaluación financiera de OCE-II #2	111
7.10	Parámetros de diseño para el cálculo de las ganancias de calor por radiación	112
7.11	Datos de SHGC para los vidrios utilizados	113
7.12	Ganancia de calor por radiación directa presentada por hora utilizando vidrio claro	114
7.13	Ganancia de calor por radiación difusa presentada por hora utilizando vidrio claro	115
7.14	Ganancia de calor total por hora utilizando vidrio claro	116
7.15	Ganancia de calor total por radiación utilizando vidrio con polarizado reflexivo.	117
7.16	Total de calor acumulado diario debido a la radiación para los dos tipos de ventana	118
7.17	Costos y parámetros operativos del equipo de aire acondicionado en la localización C17	119
7.18	Potencial ahorro por implementación de OCE-II #3	119
7.19	Evaluación financiera de OCE-II #3	120
7.20	Potencial ahorro por implementación de OCE-II #4	121
7.21	Potencial ahorro por implementación de OCE-II #4	121
7.22	Resumen de la implementación del paquete de OCEs aceptadas	123
7.23	Evaluación financiera del paquete de OCEs aceptadas	124
7.24	Mejora del EUI con la implementación del paquete de OCEs	124
A:1	Información de las áreas pertenecientes al piso 1	139
A.2	Información de las áreas pertenecientes al piso 2	139
A.3	Información de las áreas pertenecientes al piso 3	140
A.4	Información de las áreas pertenecientes al piso 4	140
A.5	Información de las áreas pertenecientes al piso 5	141
A.6	Información de las áreas pertenecientes al piso 6	142
A.7	Historial de facturación para el medidor principal con localización 7404551130	142
A.8	Historial de facturación para el medidor secundario con localización 7404551125	143
A.9	Datos de potencia y consumo de energía recolectados por el medidor Fluke 435 para el período de baja ocupación.	145
A.10	Datos de potencia y consumo de energía recolectados por el medidor Fluke 435 para el período de alta ocupación.	147
A.11	Datos de temperaturas recolectados por los equipos Hobos	148

<b>Cuadro</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
A.12	Datos de humedad relativa recolectados por los equipos Hobos.	150
A.13	Datos de intensidad luminosa recolectados por los equipos Hobos.	151
A.14	Inventario de equipo eléctrico.	152
B.1	Cálculo del ángulo de incidencia para las diferentes horas según la ventana	155
B.2	Cálculo de las radiaciones normales directas, difusas y reflexivas según la hora	155
B.3	Ganancia de calor por radiación directa presentada por hora para el vidrio claro	156
B.4	Ganancia de calor por radiación difusa presentada por hora para el vidrio claro	157
B.5	Ganancia de calor total por hora utilizando vidrio claro	158
B.6	Ganancia de calor por radiación directa presentada por hora para el vidrio reflexivo	159
B.7	Ganancia de calor por radiación difusa presentada por hora para el vidrio reflexivo	159
B.8	Ganancia de calor total por radiación utilizando vidrios con polarizados reflexivos.	160



# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN Y DIAGNÓSTICO ENERGETICO NACIONAL**

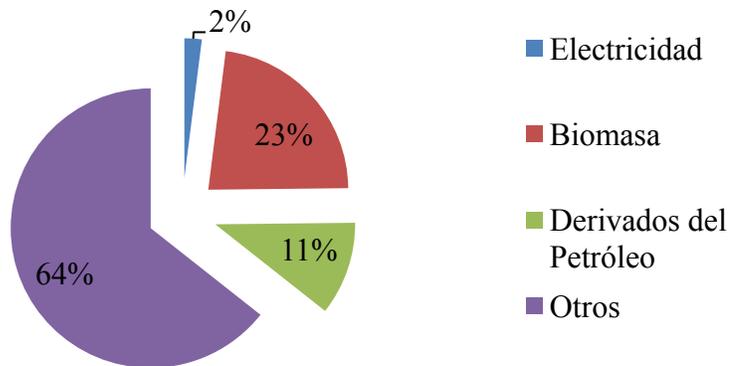
El análisis de la situación energética nacional, pone en evidencia el fuerte crecimiento del consumo de energía, la alta dependencia de los combustibles fósiles y la necesidad de actuar sobre la demanda, para lograr un consumo más racional y eficiente en todos los sectores de la economía nacional. Además de esto, el sector energía deberá enfrentar en el futuro dos retos críticos: el cambio climático y el agotamiento del petróleo. Estos dos fenómenos alterarán las condiciones de la oferta de energía, pues el primero afectará directamente la disponibilidad de los recursos renovables, mientras que el segundo impactará el suministro del petróleo y sus derivados. Todo esto incrementará la vulnerabilidad del país ante eventos naturales y geopolíticos (MINAET, 2011).

### **1.1 Consumo energético nacional; sectores de consumo y fuentes de energía**

El consumo de energía comercial se ha incrementado continuamente triplicándose entre 1980 y 2010. El consumo de electricidad aumentó 4,2 veces, impulsado por un alto grado de electrificación que coloca al país entre los primeros a nivel mundial y el incremento del consumo de los sectores residencial e industrial. El consumo de derivados de petróleo se incrementó 2,9 veces, debido fundamentalmente al aumento del parque automotor movido por gasolina y diesel. El crecimiento promedio del consumo de hidrocarburos en los últimos 20 años fue del 4,7% anual y el de la electricidad del 5,3 % anual. Con estas tasas de crecimiento, la demanda de electricidad se duplicará en 13 años y la de hidrocarburos en 15 años (MINAET, 2011).

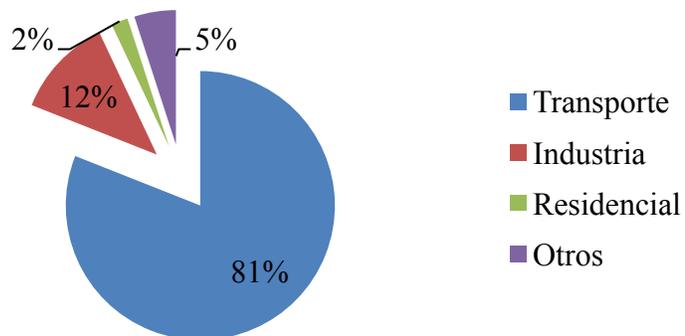
Debido a las tasas de incremento descritas con anterioridad es importante realizar un análisis preliminar de los tipos de energía que utiliza el país, así como la distribución de su consumo para poder entender la necesidad de una política de eficiencia energética.

La distribución del consumo de energía según su medio de comercialización se puede observar en la Figura 7.1.



**Figura 1.1** Distribución del consumo energético nacional por tipo de energía en base a un consumo total de 86845 TJ  
*Fuente:* (MINAET, 2011)

Como se muestra en la Figura 1.1 la energía suministrada directamente a partir de los derivados del petróleo es la más utilizada a nivel nacional. En la Figura 1.2 se muestra la distribución del consumo de energía a partir de los derivados del petróleo. El sector de mayor consumo es el sector transporte, mientras que el sector industrial complementa en su mayor parte la utilización de esta fuente de energía.

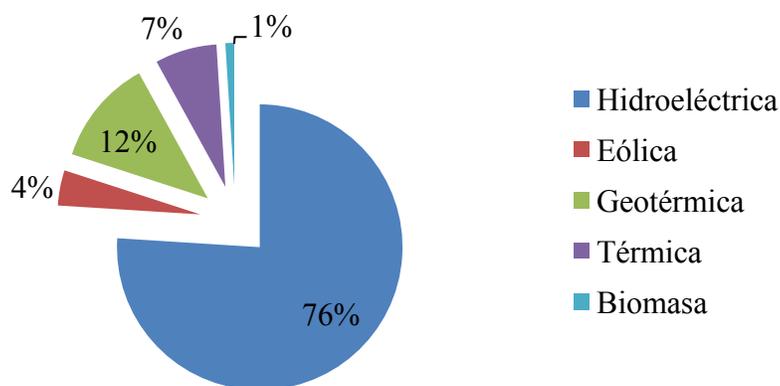


**Figura 1.2** Distribución del consumo de los derivados del petróleo en base de un total de 86845 TJ producidos  
*Fuente:* (MINAET, 2011)

La alta participación del sector transporte en el consumo de derivados de petróleo es el resultado de su total dependencia de los combustibles fósiles. Todo el transporte nacional,

tanto público como particular, hace uso de combustibles fósiles, con el agravante que el comportamiento del parque automotor muestra una tendencia creciente, lo que presiona aún más sobre el consumo de combustibles (MINAET, 2011).

La electricidad constituye la segunda mayor fuente de suministro de energía y se puede cuantificar como un consumo de 30 808 TJ anual. La distribución de los tipos de fuentes de energía que se utilizan para generar electricidad en el país es variable y se utilizan en su mayoría recursos renovables, la distribución porcentual se puede observar en la Figura 1.3.



**Figura 1.3** Distribución según la fuente de la producción de la energía eléctrica nacional en base a un total de 9502,7 GW-h producidos

*Fuente:* (MINAET, 2011)

La Figura 1.3 muestra que en Costa Rica se utiliza en proporciones menores los derivados del petróleo para la producción de electricidad, sin embargo en los últimos años se ha evidenciado una tendencia creciente hacia la utilización de estos procesos de generación.

Esta generación térmica es particularmente costosa y dependiente de la volatilidad, vulnerabilidad e incertidumbre del mercado petrolero internacional. La producción de energía eléctrica a partir de combustibles fósiles se ha visto incrementada en los últimos años. En 2005 se produjo solamente 1,5 % con combustibles fósiles, mientras en el 2007 subió al 8 % y 9 % en el 2008, aunque en el 2009 se redujo al 4,8 %, en el 2010 subió al 7%. (MINAET, 2011)

Debido a la cantidad de recursos naturales que tiene el país, existe un gran potencial de explotación de energías alternativas sostenibles. El Cuadro 1.1 resume este potencial y su grado de utilización.

**Cuadro 1.1** Potencial de uso de energías alternativas.

<b>Fuente</b>	<b>Potencial teórico identificado</b>		<b>Grado de utilización</b>
<b>Hidroeléctrico</b>	25.500 MW	6.633 MW	21%
<b>Geotérmico</b>	865 MW	257 MW	64%
<b>Eólico</b>	600 MW	274 MW	35%
<b>Solar</b>	10.000 MW	0,14 MW	Mínimo
<b>Residuo vegetal</b>	7.953 X 10 <sup>3</sup> Tm		13%
<b>Bagazo de caña</b>	1 290 X 10 <sup>3</sup> Tm		96%
<b>Leña</b>	25.000 X 10 <sup>3</sup> Tm	783 X 10 <sup>3</sup> Tm	98%
<b>Biogás</b>	9.981 TJ	5 206 TJ	1%
<b>Alcohol</b>	32.556 X 10 <sup>6</sup> L	115 X 10 <sup>6</sup> L	0%
<b>Biodiesel</b>	22.851 X 10 <sup>6</sup> L	176 X 10 <sup>6</sup> L	Mínimo

*Fuente:* (MINAET, 2011)

Como se puede observar en el cuadro anterior existe una gran cantidad de energía alternativa que el país puede explotar. El Plan Nacional de Ahorro de Energía 2012-2030 contempla la diversificación de energías sostenibles y alternativas como parte de sus políticas de ahorro y mejora para los siguientes años. La promoción de estas fuentes de energía constituye una gran oportunidad para mejorar el desempeño energético del país en años venideros.

## 1.2 Potencial de ahorro energético

Además de la intervención de nuevas fuentes de energía para la generación de electricidad, Costa Rica cuenta con el ahorro y el uso eficiente de la energía como otra de sus principales armas para reducir la demanda y el consumo energético. Se muestra en el Cuadro 1.2 el potencial de ahorro contemplado.

**Cuadro 1.2** Potencial de ahorro energético del país para el período 1999-2015

	<b>Energía eléctrica(GW-h)</b>	<b>Demanda eléctrica (MW)</b>	<b>Derivados de petróleo (miles de barriles)</b>
<b>Consumo total</b>	138 950	2 191	1 465 499
<b>Ahorro por equipo eficiente de equipo</b>	13 135	220	90 311
<b>% Ahorro</b>	9,4	10	6,2
<b>Ahorro por uso eficiente</b>	8 777	133	65 642
<b>% Ahorro</b>	6,6	6	4,8
<b>Ahorro por manejo de cargas</b>	--	29	---
<b>% Ahorro</b>	--	1,3	--
<b>Ahorro Total</b>	21 912	382	155 953
<b>% Total de Ahorro</b>	16	17,4	11

*Fuente:* (MINAET, 2011)

Existe un gran potencial de ahorro energético en el país, principalmente en el sector eléctrico se puede mejorar tanto en las demandas necesarias como en los consumos energéticos. El uso eficiente de los dispositivos eléctricos así como la utilización de equipos más eficientes son los aspectos a considerar para aprovechar estos potenciales.

El gobierno de Costa Rica dentro de sus políticas de desarrollo sostenible y tomando en consideración el potencial de ahorro energético antes mencionado, dispone en su Plan Nacional de Ahorro de Energía 2012-2030 de la promoción de programas de ahorro energético en macroconsumidores como una de las líneas de acción a seguir para la disminución de la demanda energética en los sectores industrial y comercial.

La auditoría energética es la base de los programas de ahorro energético tanto a nivel local como nacional. Un adecuado diagnóstico y sus consecuentes medidas pueden significar ahorros inmediatos para las empresas y a su vez servir como un impulsor del desarrollo del país.



## **CAPÍTULO 2**

### **AUDITORÍAS ENERGÉTICAS EN EDIFICIOS**

#### **2.1 Sistema de gestión energética, programas de ahorro energético y auditorías energéticas según la ISO 50001**

A menudo en la literatura las razones por los cuales se realiza una auditoría se ligan estrictamente con un programa de uso racional de la energía. Es necesario entender la relación entre estos términos para poder valorar los alcances de una auditoría y sus objetivos principales.

A nivel internacional hasta hace pocos años no se contaba con una norma que llegara a estandarizar esta clase de programas y brindará directrices claras acerca de cómo aplicarlos. Para solventar estas necesidades nace la norma ISO 50001, la cual especifica los requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión de la energía, con el propósito de permitir a una organización contar con un enfoque sistemático para alcanzar una mejora continua en su desempeño energético, incluyendo la eficiencia energética, el uso y el consumo de la energía.

Un sistema de gestión de la energía es un conjunto de elementos interrelacionados mutuamente o que interactúan para establecer una política y objetivos energéticos, y los procesos y procedimientos necesarios para alcanzar dichos objetivos (INTECO, 2011).

El sistema de gestión energética que propone la norma ISO 50001 se basa en un ciclo de mejora continua PHVA, el cual se divide en cuatro etapas; Planificar, Hacer, Verificar y Actuar, las cuales en conjunto pretenden mejorar el desempeño energético de manera continua.

El concepto de desempeño energético incluye el uso de la energía, la eficiencia energética y el consumo energético. De esta manera, una organización puede elegir entre un amplio ámbito de actividades para mejorar su desempeño energético. Por ejemplo, la organización

puede reducir su demanda máxima al utilizar el excedente de energía y la energía desperdiciada o mejorar las operaciones de sus sistemas, sus procesos o su equipamiento (INTECO, 2011).

Para cuantificar el desempeño energético de una organización se utilizan índices de desempeño energético (IDE). Los IDEs pueden ser un parámetro, un simple cociente o un modelo complejo. Ejemplos de IDEs pueden incluir; consumo de energía por unidad de tiempo, consumo de energía por unidad de producción y modelos multivariables. La organización puede elegir los IDEs que informen del desempeño energético de su operación y puede actualizar los IDEs cuando se produzcan cambios en las actividades del negocio o en las líneas de base que afecten a la pertinencia del IDEs, según sea aplicable (INTECO, 2011).

Un programa de ahorro energético (PAE) o programa de uso racional de la energía se refiere a un conjunto de acciones a largo plazo que aseguren la infraestructura necesaria para llevar a cabo con éxito medidas de conservación, uso eficiente y sustitución energética, que a su vez conlleven a un ahorro energético. Al mismo tiempo esta clase de programas implica un compromiso y una organización permanente a largo plazo (Rey & Velasco, 2006).

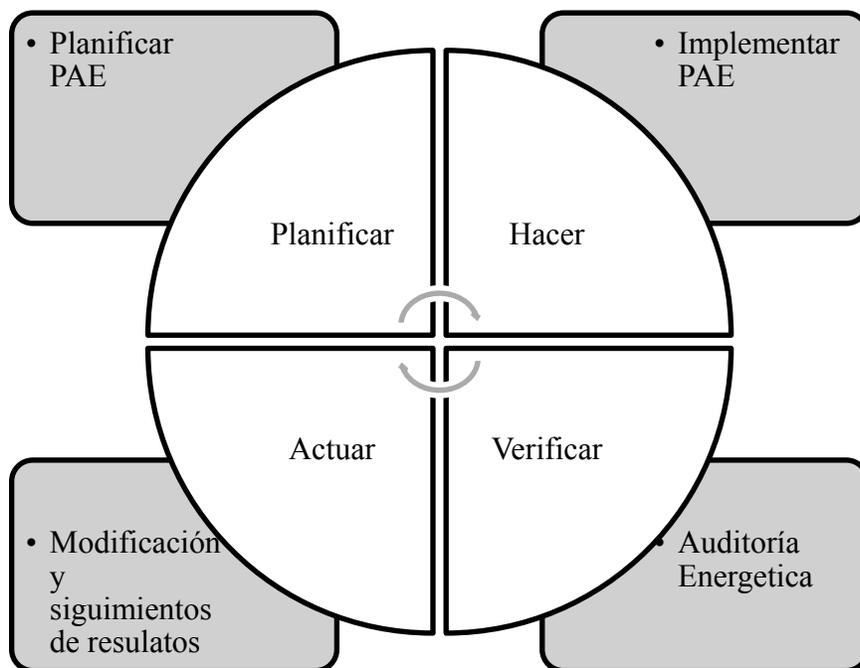
En cuanto a la norma ISO 50001, las etapas Planificar y Hacer corresponden a la planificación e implementación de los PAEs, los cuales pueden ser modificables a lo largo del tiempo dependiendo de los hallazgos encontrados en la etapa Verificar, y su afinidad con los objetivos planteados dentro del mismo sistema.

No puede existir un programa de ahorro de energía sin la aplicación de alguna auditoría energética, ni viceversa, ya que el programa sienta las bases y desarrolla un plan de acción para las auditorías, y a su vez las auditorías sirven de diagnóstico para el programa (Rey & Velasco, 2006).

La etapa Verificar gira en torno la obtención de datos energéticos fiables para lo cual es necesario la aplicación de evaluaciones o auditorías energéticas. Una auditoría o evaluación

energética comprende una revisión detallada del desempeño energético de una organización, de un proceso o de ambos. Se basa generalmente en una apropiada medición y observación del desempeño energético real. Los resultados de la auditoría generalmente incluyen información sobre el consumo y el desempeño actual y pueden ser acompañadas de una serie de recomendaciones categorizadas para la mejora del desempeño energético (INTECO, 2011).

Por último la etapa Actuar, corresponde a la implementación de las recomendaciones de la auditoría y la modificación del PAE según estas últimas lo requieran. La fiabilidad de los hallazgos encontrados en la etapa anterior es crítica para tomar las acciones adecuadas. En la Figura 1.4 se muestra el ciclo PHVA enfocado al sistema de gestión energética ISO 50001.



**Figura 2.1** Ciclo PHVA para el sistema de gestión energética ISO 50001.

Como se ha mencionado en párrafos anteriores la implementación de la norma ISO 50001 es un esfuerzo a largo plazo, que involucra la participación de toda la organización. Antes de intentar implementar la norma mencionada la alta dirección de la organización debe verificar que existan los recursos y el compromiso necesario, así como la magnitud del

potencial beneficio financiero que la implementación acarrearía, de lo contrario el esfuerzo involucrado podría convertirse en una pérdida severa de recursos y tiempo.

## **2.2 Auditorías energéticas aplicadas a edificios**

Una auditoría energética aplicada a un edificio se puede definir como un estudio integral de todos los aspectos, tanto técnicos como económicos, que afectan directa o indirectamente al consumo de las diferentes energías en un edificio, cuyo objetivo es establecer un conjunto racional de reformas o mejoras encaminadas a un uso racional de la energía. Dichas mejoras no deben suponer una disminución en la calidad de los servicios prestados, en la productividad o en la habitabilidad del edificio, pudiendo incluso aparejar mejoras adicionales en estos aspectos (Ente Regional de la Energía de Castilla y León, 2009).

Al aplicar una auditoría energética se pretende:

- Obtener un conocimiento suficientemente fiable del consumo energético del lugar.
- Detectar los factores que afectan al consumo de energía.
- Identificar, evaluar y ordenar las distintas oportunidades de ahorro de energía, en función de su rentabilidad (Escobar, Saludes, & Toledo, 2003).

Uno de los objetivos más comunes por el cual se realizan auditorías energéticas a edificios es el de acreditar los inmuebles con algún tipo de certificación energética. Una certificación energética de un edificio se define como la descripción de las características energéticas de este, que aporta información a los usuarios interesados sobre la eficiencia energética del mismo. Una certificación energética a un edificio se considera un elemento de calidad y por ende una ventaja competitiva en el mercado inmobiliario. No existe una estandarización mundial para esta clase de certificaciones, sino mas bien que cada país cuenta con sus propias instituciones y modelos certificadores, entre los más importantes están el LEED (Líder en Diseño Energético y Ambiental) de Estados Unidos (Rey & Velasco, 2006).

En cuanto a los IDEs, para edificios se utiliza comúnmente el consumo energético por unidad de área. El Índice de Utilización de la Energía (EUI) es el más utilizado y es el ratio entre el total de la energía consumida en un año y el área bruta del edificio (ASHRAE, 2011).

La importancia de estos índices radica en que a través de ellos se puede realizar una comparación razonable de la utilización de la energía entre edificios de mismo uso y de esta manera se puede establecer objetivos de eficiencia energética y determinar cuáles son los edificios con mayor aprovechamiento de la energía.

### **2.3 Tipos de auditoría energética en edificios**

En general en la literatura se pueden encontrar diferentes tipos de auditoría según el autor o el equipo auditor, pero en general el tipo de auditoría responde directamente al nivel de profundidad del estudio energético, es decir las auditorías se pueden clasificar según su nivel de profundidad y análisis.

Diferentes niveles de análisis de energía pueden ser realizados en un edificio o grupos de edificios, estos niveles de análisis proporcionan información que puede ser usada para distintos propósitos. El dueño de un edificio contemplando medidas mayores de ahorro de energía y dinero va a necesitar un nivel de confianza relativamente mayor en el análisis que un dueño o encargado que solo quiere comparar el nivel de eficiencia con respecto a cierto estándar o edificios similares (ASHRAE, 2004).

A continuación se reseñan brevemente los tipos de auditoría y su clasificación según el nivel de análisis o profundidad de los mismos.

#### **2.3.1 Análisis preliminar; preauditoría**

En esta etapa se estudian los datos históricos de consumos y costos, así mismo se calcula el EUI del edificio y se compara con el EUI de edificios similares para determinar un diagnóstico y si estudios y análisis futuros producirán ahorros de energía significativos. (ASHRAE, 2004)

### **2.3.2 Análisis de nivel I; auditoría de paso o in-situ**

Se evalúan los costos y eficiencia de la energía a través de la facturas y realizando una evaluación in-situ del edificio. Un análisis de nivel I identificara y proveerá un análisis de costos y ahorros de medidas que no requieran una inversión significativa. Así mismo se proveerá una lista de mejoras que necesiten mayor consideración y análisis económico (ASHRAE, 2004).

Es la auditoría realizada mediante una visita corta al lugar auditado, en ella mediante una inspección visual se determinan oportunidades de conservación de energía comunes que tengan que ver con la operación y el mantenimiento del lugar, y que al mismo tiempo signifiquen una disminución inmediata en el consumo de energía. Ejemplos de las medidas tomadas pueden ser el remplazo de ventanas rotas, cambio en los tipos de bombillos, etc. (Krarti, 2011).

### **2.3.3 Análisis de nivel II; auditoría energética estándar**

Un nivel II de análisis identificará y proveerá el análisis de ahorros y costos de todas las medidas consideradas prácticas según el criterio del dueño o encargado, acompañado de una discusión de todos los cambios de operación y mantenimientos recomendados. Así mismo también proveerá un listado de potenciales mejoras con impacto capital que requieren mayor análisis ingenieril y recolección de datos. Este nivel de análisis se adecua a la mayoría de edificios (ASHRAE, 2004).

En este tipo de auditoría se lleva acabo análisis exhaustivo de los sistemas de energía de las instalaciones. Conlleva tanto el análisis realizado por una auditoría in-situ como por la de costos y utilidades, y en adición desarrolla una línea base o modelo del uso de energía actual de las instalaciones y evalúa económicamente las más importantes OCEs (Opciones de Conservación de Energía). Es importante recalcar que para los desarrollos de modelos y la evaluación económica se utilizan herramientas simples como regresiones lineales y análisis de tasas de retorno (Krarti, 2011).

### **2.3.4 Análisis de nivel III; auditoría energética detallada**

Este nivel de análisis se centra en proyectos con alto potencial de inversión identificados durante el nivel II de la auditoría, y conlleva una recolección de datos más detallada así como un análisis ingenieril más riguroso. El análisis provee costos y ahorros detallados así como un alto nivel de confianza suficiente para facilitar la toma de decisiones inversiones de gran magnitud. (ASHRAE, 2004)

Este tipo de auditoría es similar a la estándar pero varían considerablemente en las herramientas utilizadas en la medición análisis y evaluación de los datos obtenidos. La auditoría energética detallada es la más exhaustiva pero también la que más tiempo y recursos puede consumir. En este tipo de auditorías la toma de datos se realiza con instrumentación sofisticada que pueda tomar los datos de consumo continuamente y desarrollar simulaciones por computadora que predigan consumos y costos. Este tipo de auditoría ayuda a detallar la distribución de cargas energéticas, así como a desarrollar análisis económicos más detallados basados en los ciclos de vida de los equipos en vez de análisis simples de tasas de retorno (Krtati, 2011).

En conclusión la selección del tipo de auditoría a utilizar depende entonces de dos factores; la profundidad que se requiera y los recursos a disposición.

## **2.4 Procedimientos de una auditoría energética a edificios**

Seguidamente se citan los procedimientos para desarrollar las auditorías energéticas según el nivel de análisis. Los procedimientos descritos seguidamente son los utilizados por la Sociedad Americana de Calefacción Refrigeración y Aire Acondicionado, (ASHRAE) como estándares en la realización de auditorías energéticas en edificios (ASHRAE, 2004).

### **2.4.1 Análisis preliminar**

1. Determinar el área del edificio a evaluar y clasificar los usos del edificio.

2. Recolectar copias de la facturación y resumirlas por al menos un año, preferiblemente 3 años. Revisar las facturaciones para identificar oportunidades que permitan obtener mejores precios y costos aprovechando las diferentes clases de tarifas.
3. Completar los índices de desempeño de cada fuente de energía en el edificio y su combinación total.
4. Comparar el EUI e índices de costos con el de otros edificios con características similares.
5. Determinar los índices de consumo de energía y costos objetivos. Lo anterior se puede realizar a través de la comparación con los índices de edificios de bajo consumo o índices recomendados para edificios del mismo tipo y finalidad.
6. Comparar los índices objetivos con el EUI calculado para el edificio.

#### **2.4.2 Análisis de nivel I**

1. Realizar una breve inspección visual in-situ de las instalaciones para familiarizarse con la construcción, equipo operación y mantenimiento.
2. Reunirse con dueños, encargados y ocupantes para determinar problemas especiales o requerimientos del inmueble. Determinar si problemas en el mantenimiento o prácticas pueden afectar la eficiencia energética del edificio.
3. Realizar un análisis de función de los espacios para determinar si la eficiencia energética se ve afectado por cambios en la función primordial del edificio.
4. Realizar un estimado de los usos finales de la energía incluyendo utilidades relacionadas al clima.
5. Identificar medidas de conservación de energía que no requieran inversión, incluyendo cambios en la operación y mantenimiento, así como determinar los posibles ahorros involucrados generados por los mismos.
6. Identificar otras medidas de conservación de energía que involucren una inversión significativa.

### 2.4.3 Análisis de nivel II

1. Revisar el estado actual de los sistemas eléctricos y mecánicos del edificio.
2. Revisar si existen problemas en el mantenimiento y operación del inmueble.
3. Medir parámetros claves en la operación y comparar con los niveles de diseño estándar. Por ejemplo horarios de operación, temperatura de enfriamiento y calefacción de agua, temperatura de suministro de aire, temperatura y humedad de los espacios, cantidades de ventilación y nivel de luz.
4. Preparar un análisis de distribución del total de la energía consumida anualmente en base a su uso final. Se puede realizar una serie cálculos manuales para pronosticar el consumo hasta simulaciones hora por hora en la computadora.
5. Se deben de enlistar todas las medidas de conservación de energía que incluyan modificaciones o sustituciones de equipo, y a su vez seleccionar las medidas que se consideren prácticas. Estimar costos preliminares y sus posibles ahorros.
6. Se debe revisar las posibles modificaciones prácticas con el encargado o dueño y priorizar las modificaciones según su orden de importancia en la operación del edificio.
7. Para cada medida práctica se deben estimar los posibles ahorros de energía anuales y su beneficio financiero, así como su posible impacto en el EUI.
8. Estimar los costos de implementación de cada medida practica.
9. Estimar el impacto de cada medida practica en los costos de operación y mantenimiento del edificio, así como en costos operativos que no estén ligados directamente al consumo energético.
10. Estimar los ahorros de energía combinados de todas las medidas prácticas y comparar con las medidas establecidas en el análisis de nivel I. Estas medidas tienen que realizar la suposición de que las medidas establecidas en el nivel I fueron implementados.
11. Preparar una evaluación financiera de cada una de las medidas prácticas por implementar. Para realizar la evaluación se deben de utilizar las técnicas y herramientas seleccionadas por el encargado o dueño del edificio.

12. Reunirse con el dueño o encargado del edificio para discutir las medidas de implementación o necesidades de mayor análisis.

#### **2.4.4 Análisis de nivel III.**

1. Expandir la definición de todas las medidas que requieran un mejor análisis.
2. Revisar los métodos de medición y realizar un monitoreo más riguroso que permita determinar la factibilidad de las medidas.
3. Realizar un modelado acorde a las modificaciones propuestas, así mismo se debe de asegurar que el modelo tome en cuenta las posibles interacciones entre los sistemas.
4. Preparar un diagrama conceptual de cada una de las modificaciones.
5. Estimar costos y ahorros de cada modificación.
6. Reunirse con el encargado o dueño del edificio para discutir la implementación de las medidas.

## **CAPÍTULO 3**

### **EQUIPOS DE CONSUMO EN UN EDIFICIO COMERCIAL**

La caracterización del sistema a estudiar es fundamental para determinar la magnitud y la dinámica de consumo del sistema en cuestión. Edificios comerciales, industriales y residenciales difieren en su consumo debido a factores como tipo y cantidades de equipo, horarios, áreas de trabajo, tipos de uso, etc. Como parte del estudio que el responsable auditor debe llevar a cabo dentro del edificio se debe identificar, categorizar y evaluar los equipos que posean mayor impacto en el consumo energético.

Para visualizar cuales son los equipos objetivo a inspeccionar dentro de la auditoría, se presentan seguidamente una categorización general de las unidades de consumo más importantes.

#### **3.1 Sistemas de iluminación**

La iluminación en un edificio tiene un impacto significativo dentro del consumo energético del mismo. En edificios de oficinas, 30 % a 50 % de la electricidad consumida es usada para proveer iluminación. En adición el calor generado por la luz contribuye como cargas adicionales de calor que tienen que ser removidas por equipos de enfriamiento. Típicamente, la modernización del equipo de iluminación es muy efectiva en términos de costos, con tasas de retorno menores de dos años (Krarti, 2011).

Las luminarias fluorescentes son las más utilizadas en edificios comerciales e industriales para dar el aporte de luz artificial necesario. Se entiende en este trabajo como luminaria al conjunto de equipos encargados de brindar y distribuir la luz, en los que se incluyen las lámparas, el balastro, el difusor y el reflector de las mismas. A continuación una breve reseña de las mismas

Lámparas fluorescentes: son aquellas fuentes de luz de descarga eléctrica en la cual la luz se produce predominante por la fluorescencia del fosforo activado por la energía ultravioleta de un arco de mercurio. En el mercado existen varios tipos y formas, una de las cuales es la lámpara fluorescente rectilínea la cual se puede encontrar en varios tamaños y diámetros de bulbo. Las hay en longitudes de 1,2 m (48 in), 2,4 m (96 in), etc y en tamaños de bulbo de T12, T8, T5, etc. La denominación T12 significa que son 12 octavos de pulgada en el diámetro del bulbo; así como T8 significa ocho octavos de pulgada o una pulgada en el diámetro de bulbo (Barboza, 2002).

Balastro: las funciones del balastro están enfocadas especialmente en proveer la energía de una manera controlada para que se produzca el encendido del fluorescente y a la vez controlar, regular y emitir el suministro adecuado de corriente para que el fluorescente trabaje adecuadamente a su máxima eficacia. Se pueden encontrar del tipo electromagnético y electrónico, y ambos están diseñados para operar lámparas fluorescentes; sin embargo existen diferencias en la forma en que operan a las lámparas, el grado de eficiencia, la capacidad de producir la luz especificada en las lámparas y la flexibilidad para adaptar las lámpara de varios tipos y potencias a un mismo balastro. Generalmente los tubos T12 se conectan a balastros electromagnéticos y los tubos T8 a balastros electrónicos (Barboza, 2002).

Reflectores: Los reflectores son superficies reflexivas utilizadas para dirigir la luz donde más se necesitan y se basan en la ley de reflexión pudiendo ser convergentes o divergentes (Barboza, 2002).

Difusores: los difusores son elementos que permiten direccionar la luz a otras áreas dentro del área de trabajo, además de eliminar los reflejos indeseados causados por la luminaria (Barboza, 2002).

En general existen diferentes niveles de luz recomendados según la aplicación a realizar en cada área. En el Cuadro 3.1 se enlistan los niveles recomendados según la Sociedad de Ingeniería de Iluminación de Norteamérica (IESNA).

**Cuadro 3.1** Valores recomendados de iluminación sugeridos por IESNA

<b>Aplicación</b>	<b>Intensidad luminosa (lux)</b>
<b>Oficinas</b>	
General	200-500
Trabajos de Lectura	200-500
Dibujo	1000-2000
<b>Clases</b>	
General	200-500
Pizarras de Tiza	500-1000
<b>Almacenes de Venta</b>	
General	200-500
Áreas de Trabajo	200-500

*Fuente:* (Krarti, 2011)

La edad de los ocupantes, los requerimientos de velocidad y precisión, y los contrastes de fondo determinan el nivel de luz que un espacio debe de tener para alcanzar un nivel de confort visual adecuado. Es un error común considerar que un exceso de luz mejorara un campo visual, por lo contrario un exceso de la misma puede llegar a perjudicar el confort visual de un ocupante.

Para lograr y mantener un confort visual adecuado y una mejora en la eficiencia energética de los sistemas de iluminación se usan actualmente tres acercamientos distintos los cuales se citan seguidamente:

### **3.1.1 Sustitución de tecnologías de iluminación.**

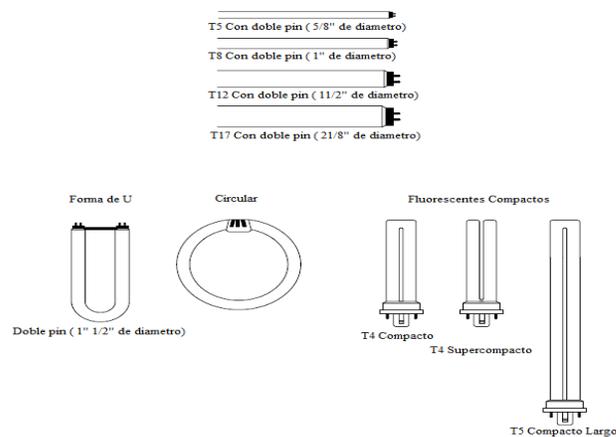
Este aproximamiento es el más utilizado y el más efectivo a corto de plazo. Consiste principalmente en la sustitución de tecnología poco eficiente energéticamente por nuevas tecnologías de iluminación más eficiente.

- Lámparas fluorescentes: La eficacia de las lámparas depende de factores como el largo y diámetro de la lámpara, la temperatura, el tipo de balasto y el tipo de recubrimiento. Las lámparas con recubrimiento de tierras raras,

llamadas también de trifósforo son las más eficientes. Las T8 de son las más eficientes del mercado y pueden llegar a brindar hasta 90 lumen/W consumido, y tener una vida útil de (24 000-30 000) horas.

- Instalación balastos electrónicos: los balastos electrónicos son dispositivos eléctricos utilizados para controlar la magnitud de la corriente entregada a la lámpara. En la mayoría de las lámparas un balasto también provee el alto voltaje necesario para encender la lámpara. Tradicionalmente se utilizaban balastos magnéticos en las lámparas fluorescentes, sin embargo es preferible la instalación de balastos electrónicos que generen corriente de alta frecuencia, ya que provocan que la luz cicle de manera más rápida y aparezca más brillante. Típicamente los balastos magnéticos pueden generar una frecuencia de 60 Hz mientras que los electrónicos pueden ir de (20-60) Hz, y provocar ahorros de energía de hasta 22 % dependiendo del tipo de fluorescente utilizado. (Capehart, 2007)

En la Figura 3.4 se puede encontrar una ilustración de la tecnología de iluminación descrita anteriormente.

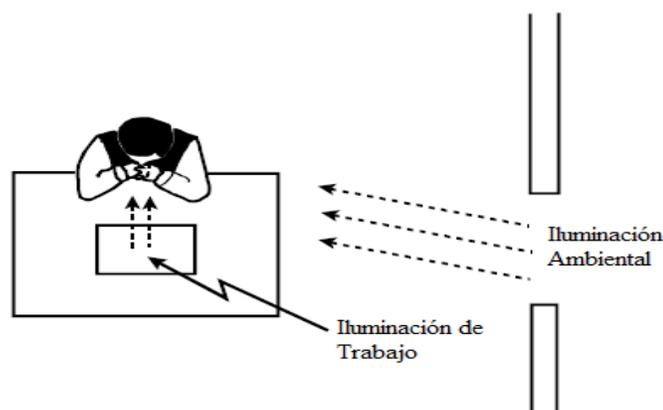


**Figura 3.1.** Tipos de lámparas fluorescentes de uso común  
*Fuente:* (Al-Azzawi, 2006)

### 3.1.2 Optimización de la luz según el espacio de trabajo espacio y optimización de la luz natural

El diseño más común de los equipos proveedores de luz en edificios comerciales es la iluminación directa en alturas sobre el nivel de la cabeza. El objetivo principal de este tipo de arreglo es brindar una iluminación con una intensidad uniforme a toda una área, la intensidad lumínica debe de ser lo suficientemente alta para brindar luz de trabajo a cualquier espacio dentro del área, lo que evidentemente produce un desperdicio de energía en la iluminación de áreas no trascendentes. El diseño adecuado de los arreglos de estos sistemas de iluminación permite obtener ahorros en la energía invertida en la iluminación de áreas de transición y de no trabajo.

El diseño enfocado en áreas de trabajo parte de la aplicación de nuevos arreglos de iluminación donde se priorice bajos niveles ambientales de luz en combinación con iluminación de trabajo localizada en áreas fundamentales para proveer ahorros de energía dentro de oficinas que vayan desde 15 % hasta 25 %. Se ilustra la diferencia de estas clases de iluminación en la Figura 3.2.



**Figura 3.2** Diferencia entre iluminación ambiental y de trabajo  
*Fuente: (Capehart, 2007)*

### **3.1.3 Sistemas de control de iluminación.**

El ahorro de energía proviene principalmente de la no operación de los sistemas de iluminación cuando no son requeridos. El control de la operación de los sistemas de luces puede ser logrado a través de diferentes medios incluyendo interruptores manuales, sensores de ocupación, y sistemas de ajuste automático de la iluminación según la luz solar.

#### ***Sensores de ocupación***

Estos sistemas sirven para ahorrar energía ya que apagan las luces automáticamente al detectar que nadie está ocupando un área determinada. Es importante especificar debidamente e instalar el sensor adecuado para proveer la iluminación necesaria durante los períodos de ocupación. La mayor parte de las instalaciones fallidas de estos sensores son consecuencia de la mala selección del producto y una mala localización del sensor. Existen dos tipos de sensor de movimiento en el mercado:

- **Sensores infrarrojos:** El sistema funciona al detectar distorsiones en la temperatura del área provocadas cuando un objeto se mueve, las luces se mantienen hasta que los cambios de temperatura dejan de ser significativos. Este sistema requiere que los sensores posean una visión en línea recta de los ocupantes, por lo que debe ser usados en espacios pequeños con formas regulares y sin particiones.
- **Sensores ultrasonido:** estos sensores operan bajo los mismos principios que los radares de aeropuertos y submarinos. Los sensores emiten sonidos de alta frecuencia que rebotan en los objetos y regresan al sensor, cuando los objetos se mueven distorsionan los patrones de las ondas de sonido, por lo que el sensor activa la iluminación hasta que ya no se detecten estas distorsiones durante un período determinado. Este tipo de sensores puede ser inadecuado en lugares amplios que puedan provocar alguna clase de eco.

Esta clase de controles permite ahorros de energía significativos, principalmente en áreas con poco uso como bodegas, salas de conferencias y baños. Se puede verificar los porcentajes de ahorro según las áreas determinadas en el Cuadro 3.2.

**Cuadro 3.2** Porcentajes de ahorro utilizando sistemas de control de ocupación según el área

<b>Espacio</b>	<b>Ámbito de ahorro (%)</b>
Oficina (Privada)	25-50
Oficina (Espacio Abierto)	20-25
Baños	30-75
Salas de Conferencia	45-65
Corredores	30-40
Áreas de almacenaje	45-65
Bodegas	50-75

*Fuente:* (Capehart, 2007)

Como se observa en el Cuadro 3.2 estos equipos automáticos de control logran representar una opción con un aporte directo al ahorro de energía. Los sistemas de apagado y encendido manuales también son una opción viable, sin embargo debido a que estos últimos dependen en gran medida del comportamiento y estado de ánimo del ocupante, es preferible la instalación de los sistemas automáticos.

### ***Sistemas de atenuación de luz o “dimming”***

Los sistemas de atenuación de luz o “dimming” se basan en el principio de regular el gasto de energía a través del ajuste de la intensidad lumínica. Se pueden utilizar de manera automática en conjunto con la luz solar para disminuir los consumos eléctricos durante el día en proporciones de 30 % - 40 %. En cuanto a su operación manual se utilizan para atenuar el gasto energético durante picos de alto consumo o riesgos de sobrecarga. Pueden ser utilizados también según el confort del ocupante o según las necesidades de los trabajos a realizar (Kreith & Goswami, 2008).

### **3.2 Equipo HVAC**

Los equipos de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) mantienen y controlan la temperatura y humedad ambiental de un edificio para brindar un ambiente adecuado para las actividades humanas. Se calcula que típicamente el 30 % de la energía consumida en un edificio comercial se destina a esta clase de sistemas.

Las unidades más comunes de HVAC que son bombas de calentamiento, sistemas de refrigeración y calentadores de resistencia eléctrica. Los tipos de calentadores varían desde hornos eléctricos, calentadores radiantes, calentadores de túnel, hasta sistemas de calentamiento para los techos y suelos. La eficiencia para el calentamiento normalmente es alta porque no hay pérdidas por tubería o por amontonamiento, y los sistemas de transferencia de calor calientan directamente el espacio habitable.

Los sistemas de enfriamiento varían desde equipos de aire acondicionado hasta sistemas de refrigeración central y bombas de calor. Los sistemas de enfriamiento por evaporación también son usados en algunos climas.

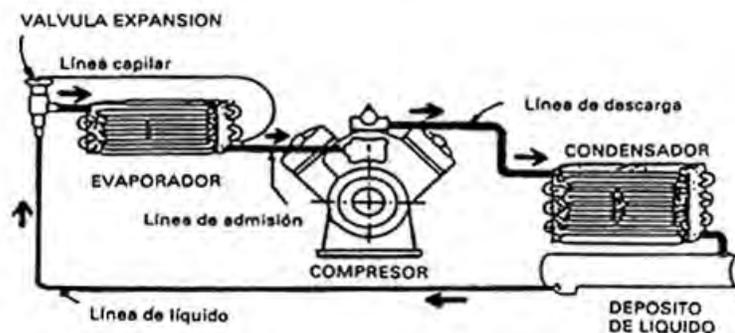
El mantenimiento y limpieza de sistemas es una medida esencial. Superficies sucias pueden disminuir la transferencia de calor, filtros tapados aumentar la caída de presión en bombas y en ventiladores y dampers en mal estado pueden significar pérdidas considerables de energía por lo cual se debe velar por el adecuado mantenimiento de estos equipos.

La eliminación de infiltraciones y ex filtraciones para la reducción de calentamiento y de enfriamiento de volúmenes innecesarios es de gran importancia. Se deben evitar aperturas de cualquier tipo con el fin de no realizar retrabajo en volúmenes innecesarios de aire.

Otras medidas como la utilización del aire ambiental en la noche para el enfriamiento, la calibración de termostatos y mejoras en la práctica operacional se recomiendan para este tipo de equipos.

### 3.2.1 Sistemas de enfriamiento o aire acondicionado

Un sistema típico de enfriamiento o aire acondicionado basa su funcionamiento en un ciclo de compresión de vapor. El sistema consiste en un compresor, un condensador, un evaporador, una válvula de expansión y equipo auxiliar de movimiento de aire. Se puede observar un sistema de aire acondicionado común en la Figura 3.3.



**Figura 3.3** Ciclo de compresión de vapor de equipos de aire acondicionado  
*Fuente:* (Carnicer, 1995)

El evaporador es un intercambiador de calor dispuesto para que un medio distinto, aire en el presente caso, del fluido refrigerante, ceda calor a este, provocando su vaporización o su calentamiento. Por consiguiente, la evaporación de un líquido o cambio de fase líquido-vapor va acompañada de la absorción de calor del aire. Aquí el evaporador toma calor de su entorno y lo transfiere al fluido refrigerante en el cual se convierte en calor latente de vaporización, manteniéndose en estado de vapor en la mayor parte del circuito (Carnicer, 1995).

El refrigerante ya en estado gaseoso circula hasta el compresor donde se aumenta su presión y temperatura para que puedan ser condensados. Posteriormente el gas refrigerante sobrecalentado pasa al condensador donde intercambia calor a través de un serpentín con el aire ambiente. Al entrar en contacto con el fluido exterior el gas se condensa y es acumulado dentro de un depósito donde estará listo para volver a entrar al ciclo de refrigeración.

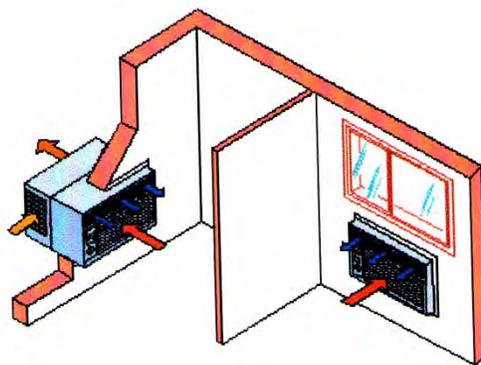
En las unidades compactas de gran capacidad y en los sistemas centralizados se emplea normalmente un condensador enfriado por agua. Los cuales están rodeados por una camisa que contienen el agua que circula en dirección opuesta a la del flujo de refrigerante. (Carnicer, 1995)

Como ya se mencionó se pueden clasificar entonces los equipos de aire acondicionado según su medio de enfriamiento, ya sea por aire o por el agua, pero también se clasifican según la disposición de sus partes, en compactos o partidos.

### ***Sistemas de aire acondicionado compactos***

Los sistemas de aire acondicionado compactos son unidades de tratamiento del aire con producción propia de frío y calor que viene ensamblada y probada de fábrica formando un conjunto único.

Entre los ejemplos más comunes de este tipo de equipo de aire acondicionado están los denominados equipos de aire acondicionado de ventana. Se puede observar en la Figura 3.4 que se trata de una sola unidad donde se encuentran dispuestas todas las partes esenciales mencionadas con anterioridad.

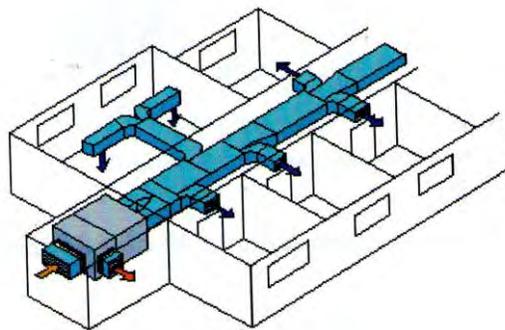


**Figura 3.4** Equipo de aire acondicionado de ventana

*Fuente:* (Barboza, 2002)

Los equipos de aire acondicionado de ventana poseen la característica principal que su instalación se realiza en una ventana o muro. La sección exterior requiere toma de aire y expulsión a través del hueco practicado. La dimensión del hueco ha de ajustarse a las dimensiones del aparato. (Barboza, 2002)

Otro tipo de sistema de aire acondicionado es el sistema de acondicionamiento de aire compacto individual, este es un equipo de descarga indirecta, mediante red de conducto y emisión de rejillas en pared o difusores en techo. Generalmente se instala un equipo para todo el conjunto de habitaciones de una vivienda o local. El equipo necesita una toma de aire exterior. Se pueden subdividir según su localización, ya que se pueden colocar en el techo o en un cielorraso o en un armario, existiendo modelos horizontales y verticales (Barboza, 2002). La Figura 3.5 ilustra esta clase de sistemas.

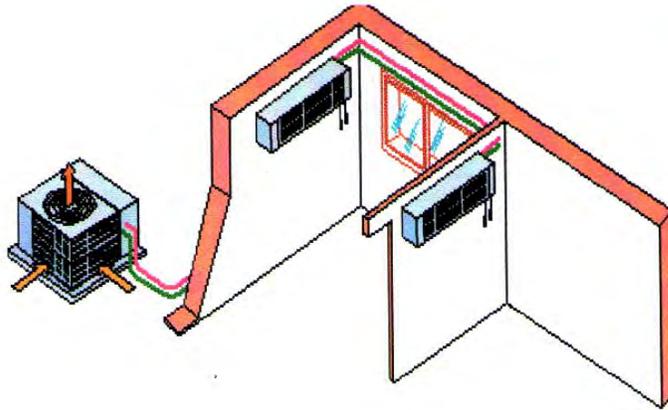


**Figura 3.5** Sistema de aire acondicionado compacto individual

*Fuente:* (Barboza, 2002)

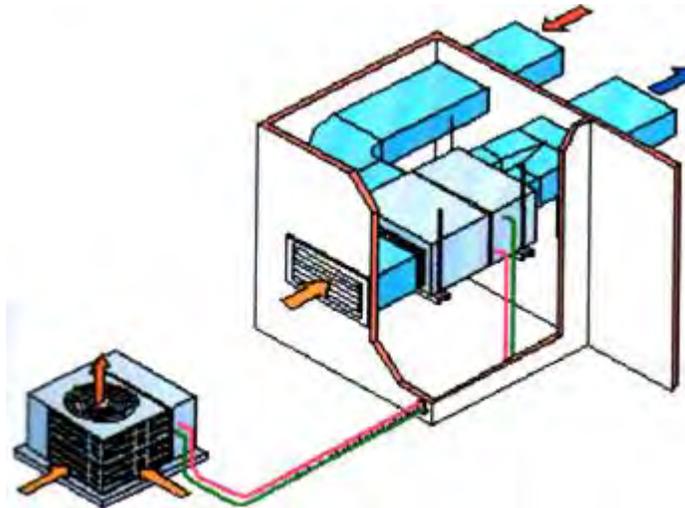
***Equipo de aire acondicionado partido o tipo “Split”.***

Se denominan así porque comprenden dos secciones separadas; la unidad climatizadora que se instala cerca del local a refrigerar e incluye el evaporador con su ventilador y la unidad condensadora que debe ser instalada en la parte externa del local y porta el compresor y condensador. (Carnicer, 1995). En la Figura 3.6 se presenta esta clase de configuración.



**Figura 3.6** Sistema de aire acondicionado tipo partido  
*Fuente:* (Barboza, 2002)

Este sistema se puede instalar también uno por vivienda con distribución de aire por red de conductos y descarga por rejilla, como se ve en la Figura 3.7, o por unidades interiores múltiples, una por habitación del tipo mural o consolas (Carnicer, 1995).



**Figura 3.7** Sistema de aire acondicionado partido con distribución por ductos  
*Fuente:* (Barboza, 2002)

### ***Sistemas de acondicionamiento de aire centralizado.***

Este sistema es conocido en muchos casos también como sistema de agua helada (chillers) y consiste en una o más unidades centrales que generan agua fría a temperaturas de aproximadamente 7 °C. La cual es distribuida por medio de tubería a las áreas comunes, o donde se requiera el clima artificial, ya sea por necesidad o comodidad (Tapia, 2002).

En edificios amplios, o en espacios que conforman un solo ambiente o un solo volumen, estan indicadas las instalaciones centralizadas que disponen de un sistema frigorífico productor de agua fría, y otro calorífico con producción de agua caliente. Esta instalación por medio del agua, retira o provee el calor en las zonas a acondicionar, enfriando o calentando el aire correspondiente (Carnicer, 1995).



**Figura 3.8** Funcionamiento de una unidad centralizada de aire acondicionado

*Fuente:* (Tapia, 2002)

Los “chillers” pueden llegar a ocupar gran parte de la energía consumida en un edificio. Se encargan principalmente del enfriamiento del agua y aire del edificio. Hay dos tipos de “chillers” en el mercado, de absorción y mecánicos de compresión. El primer tipo de estos sistemas se basa en hervir el agua y bajar la presión del refrigerante a través de la absorción en una solución concentrada de bromuro de litio. Los sistemas mecánicos son más comunes y enfrían a través de la evaporación de un refrigerante (Capehart, 2007).

Existen diversas opciones de unidades centrales o enfriadoras de agua, y cada opción será la más adecuada, dependiendo de la ubicación del edificio, la disponibilidad y costo de agua, así como las tarifa de energía eléctrica en el lugar de aplicación. Cuando se hace una selección del equipo a utilizar se debe tomar en cuenta que los equipos enfriados por agua son más eficientes que los enfriados por aire, pero se debe analizar el sistema completo, ya que el sistema de enfriamiento por agua tiene que agregársele el consumo eléctrico de los ventiladores de la torre de enfriamiento y de las bombas de agua de condensación (Barboza, 2002).

No existen soluciones generales en la elección del tipo de equipo de aire acondicionado ya que cada instalación es un sistema completamente diferente y se deben tomar en cuenta los siguientes factores a la hora de elegir el sistema de aire acondicionado para obtener un proyecto exitoso:

- Clase de local y servicio a que está destinado.
- El ambiente natural.
- Instalaciones ya existentes de calefacción y ventilación.
- Avenencia con la arquitectura del edificio.
- Gastos de instalación y mantenimiento (Carnicer, 1995).

### ***Parámetros de eficiencia energética en equipos de aire acondicionado.***

Para categorizar la eficiencia energética de los sistemas de aire acondicionado el Instituto de Aire Acondicionado y Refrigeración (ARI) y ASHRAE definen los siguientes parámetros.

- COP: Este parámetro se refiere al cociente de la extracción de calor y la energía suministrada en términos de las mismas unidades y se define como el Coeficiente de Operación por sus cifras en ingles).
- EER: se refiere al radio de eficiencia energética y es el cociente entre la capacidad de retirado enfriamiento en Btu/h, y la energía suministrada al equipo en W El EER se puede calcular a partir del COP, multiplicándolo por 3,413.
- SEER: se refiere al radio de eficiencia energética estacional y es el cociente entre el enfriamiento producido en un año expresado como (BTU) y los kW-h consumidos en un año. Se utiliza principalmente en equipos con capacidades menores a 19,05 kW (65000 Btu/h).
- IPLV: se refiere al valor integrado de la carga de enfriamiento por partes en el edificio y es usado principalmente en cargas comerciales con capacidades mayores a 19,05 kW (65000 Btu/h).

Los fabricantes ponen en el mercado una gran variedad de equipos con diferentes capacidades y eficiencias, es posible encontrar sistemas con EER tan altos como 12,5. Generalmente entre más alto es el valor de la EER más caro es el equipo ya que tienen superficies de transferencia de calor más grandes, motores más eficientes y mejor tecnología (Capehart, 2007).

### **3.2.2 Otros equipos HVAC**

#### ***Ventiladores***

Son los equipos más utilizados puesto que todos los sistemas HVAC involucran movimiento del aire. La energía involucrada en esta operación constituye una fracción importante del consumo total principalmente en lugares con clima moderado donde las cargas de enfriamiento y calentamiento son significativas. Algunas medidas de control recomendadas son simples como el apagado de los equipos cuando haya pocas personas en el edificio o el apagado de la ventilación 30 min antes que el edificio cierre. Se deben

buscar equipos y diseños que sean capaces de brindar solo el flujo de aire requerido ya que la relación entre la potencia energética del ventilador y el flujo de aire producido es de orden cúbico, lo que significa que una reducción del flujo del aire en 10 % posibilita un ahorro energético de aproximadamente 24 %. Los equipos más recomendados son aquellos que posean velocidades de rotación variable que puedan ajustar el flujo de aire brindado según las necesidades de los habitantes del edificio.

### ***Bombas***

Las bombas se pueden encontrar en gran variedad de aplicaciones HVAC. Al igual que los ventiladores son un equipo periférico que puede utilizar una gran porción de la energía disponible, esto especialmente en sistemas que manejan solo pequeñas cargas de calor. Al igual que los ventiladores las bombas presentan una relación cúbica entre la potencia requerida y los flujos brindados, por lo que pequeñas reducciones en los flujos pueden significar grandes ahorros energéticos.

Una opción viable para lograr esta clase de ahorros es recortar el tamaño de las aspas de la bomba, sin embargo debido a que la eficiencia energética de la misma depende del diámetro de las aspas, el flujo y la presión requerida, se debe consultar la curva de trabajo de la bomba para verificar que se está trabajando sobre las regiones apropiadas. Otra opción viable es utilizar una válvula de estrangulamiento para crear una utilización artificial de la energía que sea responsable de mucho del trabajo de la bomba.

Al igual que con los ventiladores, son deseables bombas con sistemas de velocidad de disco ajustable, y se puede proveer arreglos en donde existan 2 bombas; una para flujo alto y otra para flujo bajo. La inversión inicial de este tipo de variaciones puede ser alta sin embargo dependiendo de los horarios de uso, la eficiencia energética alcanzable puede llegar a ser significativamente mayor que la alcanzada con sistemas tradicionales.

### **3.3 Cargas de conectores eléctricos (“Plug loads”)**

Este tipo de cargas energéticas se refieren a las cargas generadas por equipos directamente conectados o “enchufados” al sistema eléctrico del edificio. Particularmente en edificios comerciales estas cargas de consumo se generan por equipo de oficina como computadoras, impresoras, monitores, dispensadores de bebidas, etc.

#### **3.3.1 Equipo de oficina**

En un edificio comercial se calcula que el 7 % de la energía utilizada se dirige estrictamente a equipos de oficina tales como computadoras, máquinas de fax, impresoras y máquinas escáner. Como respuesta a la necesidad de equipos más eficientes nacen los equipos “Energy Star” los cuales cuentan con características especiales de ahorro de energía para los diferentes equipos.

La utilización de este tipo de equipos puede significar un ahorro neto del 75 % del consumo normal de estos equipos. Actualmente la mayoría de equipos de oficina presentan características de ahorro como el modo “dormir”. Equipo como monitores o impresoras pueden entrar a este modo de baja energía y consumir solo una potencia de (15-45) W durante (30- 90) minutos.

Entre las medidas a tomar en cuenta para mejorar la eficiencia energética de estos equipos se encuentran:

- Activar las opciones de manejo de energía en computadoras y monitores.
- Reemplazar los computadores desktop por computadoras portátiles.
- Reemplazar monitores CRT por monitores LCD.
- Utilizar equipo “Energy Star”.
- Utilizar impresoras de red en vez de impresoras personales.

### 3.3.2 Equipos de refrigeración

Un refrigerador convencional puede llegar a consumir de (40-140) kW-h por mes dependiendo del tamaño y antigüedad del mismo. En edificios comerciales la refrigeración puede llegar a ocupar un 50 % del consumo total del edificio, dependiendo de la aplicación del mismo.

Las pérdidas de energía en estos equipos pueden provenir de diferentes fuentes, sin embargo las pérdidas más importantes se deben a las aperturas de puertas y al intercambio de calor a través de las paredes. El uso de cobertores, cortinas, cortinas de aire, puertas de vidrio y otras barreras térmicas puede llegar a mitigar estos problemas, particularmente efectivos en refrigeradores de autoservicio.

El desarrollo de equipos de refrigeración más eficientes ha sido considerable en las últimas décadas por lo que la sustitución de equipos viejos por nuevos es una opción bastante viable. Sin embargo en cualquier tipo de refrigerador se puede llegar a mejorar la eficiencia energética por medio de las siguientes recomendaciones:

- Mejorar los aislamientos.
- Desconectar o reducir la operación de descongelamientos automáticos.
- Proveer un área fría para el refrigerador.
- Limpiar las bobinas del refrigerador.
- Reducir el número de aperturas de las puertas.
- Aumentar las configuraciones de las temperaturas.
- Pre enfriar las comidas antes de refrigerar.
- Reemplazar los equipos de refrigeración de bebidas normales por dispensadores automáticos.

## CAPÍTULO 4

### CONCEPTOS GENERALES DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

Antes de entrar en detalle acerca de la realización de la auditoría es conveniente tener presente ciertos conceptos y términos utilizados en el campo de la ingeniería eléctrica y mecánica. Estos conceptos son clave en el desarrollo de la auditoría, ya que son parámetros del comportamiento energético del edificio

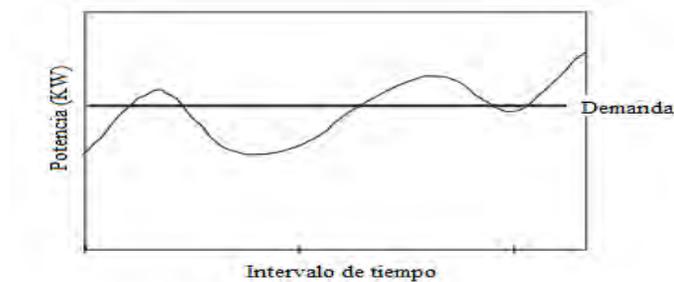
#### 4.1 Consumo eléctrico

El consumo eléctrico se define como la cantidad de energía eléctrica utilizada por una unidad en un determinado período de tiempo, se puede encontrar en los recibos y tarifas eléctricas suministradas, en unidades de kW-h.

#### 4.2 Demanda eléctrica

La demanda eléctrica se define como la potencia promediada en un determinado tiempo. La demanda se expresa comúnmente en términos de potencia real kW.

La Figura 4.1 presenta la diferencia entre la demanda establecida y la potencia instantánea.



**Figura 4.1** Diferencia entre potencia instantánea y demanda.

*Fuente:* (Grigsby, 2012)

La facturación de la demanda se basa en la demanda máxima registrada durante un período de facturación (Grigsby, 2012).

### 4.3 Potencia activa

Los diferentes dispositivos convierten la energía eléctrica en otras formas de energía como mecánica, lumínica, térmica, química, etc; esta energía corresponde a una energía útil o trabajo que se puede definir como potencia activa o real o simplemente potencia y se expresa en watts (W) (Barboza, 2002).

La demanda resultante de esta clase de potencia es la facturada mensualmente por el distribuidor.

### 4.4 Potencia reactiva

Todo equipo eléctrico hace uso del efecto de un campo electromagnético para poder producir trabajo útil, la potencia reactiva es la energía utilizada en la generación del campo magnético requerido. Por convención se expresa en unidades de voltio amperios reactivos (VAR) y se encuentra desfasada en 90° de la potencia activa (Barboza, 2002).

### 4.5 Potencia aparente

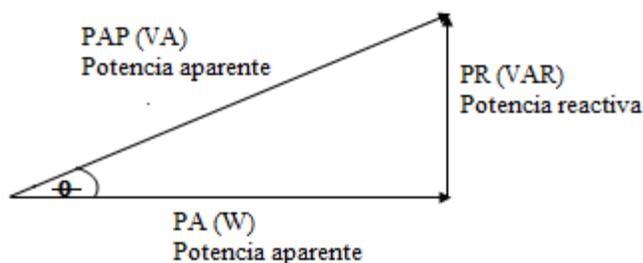
La potencia aparente es el resultado de la suma vectorial de la potencia activa y la potencia reactiva, y es también la potencia determinada por el producto de la corriente y el voltaje. Este tipo de potencia se expresa en unidades de (VA) (Barboza, 2002).

### 4.6 Factor de potencia

El factor de potencia se define como la relación que existe entre la potencia activa que consume la instalación y la potencia aparente que se suministra por parte de la empresa distribuidora de la energía (Badilla & Soto, 2001), es decir:

$$FP = \cos\phi = \frac{\text{Potencia Activa}}{\text{Potencia Aparente}} = \frac{W}{VA} \quad (4.1)$$

Normalmente la relación anterior se representa en un triángulo de vectores como el que se muestra en la Figura 4.2.



**Figura 4.2** Triángulo de potencia

El valor del factor de potencia va de 0 a 1, entre más cercano a 1 es mejor el aprovechamiento de la potencia y su aprovechamiento como trabajo útil.

El origen de un bajo factor de potencia se deriva principalmente de las cargas eléctricas de naturaleza inductiva tales como transformadores, iluminación de alta descarga, los motores de inducción, las lámparas fluorescentes, las máquinas soldadoras entre otros. El sobredimensionamiento de motores puede provocar una gran caída de factor de potencia debido a la utilización desproporcionada de energía para la magnetización de sus embobinados (Badilla & Soto, 2001).

El primer paso en la corrección del factor de potencia es el de prevenirlo mediante la selección y operación correcta de los equipos; por ejemplo adecuando la carga de los motores a su valor nominal. Otra forma de evitar problemas es con la colocación de un banco de capacitores para que suministre el reactivo faltante y así contrarresta la potencia reactiva que demanda el equipo inductivo (Badilla & Soto, 2001).

El bajo factor de potencia es causa de recargos en la cuenta de energía eléctrica la penalización por bajo factor de potencia en Costa Rica se calcula con base en la demanda máxima (kW) facturada durante el mes de medición o ciclo de cobro es decir se cobra el factor de potencia que se presenta en el momento que se registra la máxima demanda del mes de facturación, la multa se calcula de la siguiente manera:

$$Multa FP = DM * MD * \left( \frac{0,9}{FP Real} - 1 \right) \quad (4.2)$$

Donde:

Multa FP: Es la multa que cobra el distribuidor por un factor bajo de potencia: ¢

DM: Es la demanda máxima mensual registrada por el medido. kW

MD: Es el precio por demanda máxima establecido en cada tarifa. ¢

FP: Es el valor de factor de potencia registrado por el medidor en el periodo de demanda máxima. adim

El valor de 0,9 representa el factor de potencia mínimo con el que deben cumplir las empresas que poseen una demanda menor o igual a 1,0 MW, para demandas mayores a 1,0 MW el factor de potencia mínimo es de 0,95. Valores de factor de potencia menores a los descritos anteriormente ameritan una penalización por parte de las empresas distribuidoras.

#### 4.7 Factor de carga

Este parámetro es un indicador importante de que tantos picos de demanda existen en el consumo. Varía de 0 a 1, si su valor es cercano a cero indica que se tiene un consumo irregular mientras que un valor cercano a uno significa un valor regular. El factor de carga se calcula de la siguiente manera:

$$FC = \frac{C}{DM * TH} \quad (4.3)$$

Donde:

FC: Es el factor de carga. adim

DM: Es la demanda máxima mensual registrada por el medidor. kW

C: Es el consumo mensual registrado por el medidor: kW-h

TH: Es el total de horas de medición en que se basa la facturación de ese mes. h

El factor de carga puede ser usado para determinar cuando la demanda pico puede ser reducida. Por ejemplo, factores bajos de carga pueden ser incrementados reprogramando las horas de operación de los equipos causantes de demanda pico hacia períodos de baja demanda eléctrica reduciendo así, el pico global con el correspondiente ahorro de costo (Molina, Chinchilla, Rodriguez, Castrena, & Molina, 1994)



## **CAPÍTULO 5**

### **MARCO METODOLÓGICO**

Para obtener un consumo de energía fiable del edificio y para obtener las posibles opciones de conservación de energía prácticas se procede a realizar una auditoría energética con un análisis de nivel II (tipo estándar). En congruencia con los recursos a disposición y el nivel de profundidad requerido, se consideró satisfactorio este nivel de análisis. Se utilizaron los procedimientos descritos en la Sección 2.4 como guía en los procesos dentro de la auditoría.

#### **5.1 Metodología experimental**

La metodología experimental descrita seguidamente involucra los procedimientos y equipos utilizados para obtener los datos experimentales requeridos para realizar la caracterización del comportamiento energético del edificio mostrado en los siguientes capítulos.

##### **5.1.1 Descripción del comportamiento general del edificio e inventario general del equipo**

A través de los registros estadísticos de la Universidad de Costa Rica fue posible establecer un historial de consumo de los últimos 4 años, esto con el fin de tener un punto de comparación entre los resultados obtenidos en las mediciones encontradas y los datos reales de consumo.

Posteriormente se procede a realizar un diagrama de áreas del edificio. La realización de estos diagramas sirve como punto de partida de la auditoría, ya que se hace una inspección visual de cada uno de los puntos y a la vez sienta las bases para la realización de inventarios y la toma de mediciones.

El diagrama de áreas del edificio se realiza tomando en cuenta cualquier clase de separación física entre áreas habitables o de almacenamiento. Se construyen los diagramas

de área del edificio basados en las mediciones de longitud de las dimensiones de cada una de las áreas inspeccionadas. Para realizar las mediciones de longitud se utiliza un equipo convencional de medición, una cinta métrica. El levantamiento de los diagramas se realiza por medio de un programa de dibujo especializado.

Para verificar los usos finales de la energía se procede a realizar un inventario de los equipos consumidores en el edificio; para evitar la intervención en el trabajo diario del personal, las cargas de los equipos se toman de los datos de placa de los mismos y se complementan con los manuales técnicos de los mismos. Los datos encontrados se almacenan en un cuadro como el descrito en el Cuadro 5.1.

**Cuadro 5.1** Formulario base para el inventario del equipo eléctrico.

<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Modelo</b>	<b>Potencia (W)</b>	<b>Horas de uso diario</b>	<b>Área</b>	<b>Tipo de carga</b>	<b>Observaciones</b>
-----------------	---------------	---------------	-------------------------	--------------------------------	-------------	--------------------------	----------------------

Con los datos de potencia de todos los equipos se estima un consumo energético diario para obtener una distribución de los usos finales de la energía. Se compara este valor con el consumo medido experimentalmente para lograr un nivel de confianza aceptable en el balance de energía. Se utilizan las mediciones del día 14 de abril del 2014, ya que fue el día que registró el mayor consumo.

### **5.1.2 Obtención de un perfil de consumo de energía**

Para evaluar experimentalmente y comprobar la calidad y cantidad de energía distribuida al edificio se instala un equipo analizador de energía Fluke 435, como el que se muestra en la Figura 5.1. El equipo utilizado mide las potencias, voltajes, amperajes y factor de potencia de cada una de las líneas de distribución de energía eléctrica del transformador principal del edificio.

El sistema Fluke 435 permite obtener los valores máximos, mínimos y medios de los parámetros mencionados durante un período de tiempo establecido. Para este estudio se

seleccionó un intervalo de 15 minutos para la toma de mediciones, el intervalo fue seleccionado debido a que es el mismo intervalo para el cual están configurados los medidores de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz.



**Figura 5.1** Equipo analizador de energía Fluke 435

El sistema analizador de energía midió durante dos semanas los parámetros descritos con anterioridad. Las mediciones se realizaron en dos semanas de distintos períodos de ocupación; la primera semana se realiza en un período de ocupación bajo que va del 11 de febrero al 18 de febrero del 2014. La segunda corrida se realiza en la semana del 3 al 10 de abril del 2014, la cual se consideró una semana típica de trabajo normal dentro del edificio debido a que ya se está en un período lectivo regular.

### **5.1.3 Obtención de perfiles de confort térmico y lumínico**

Para tener una idea de la utilización de los equipos de iluminación y los equipos de aire acondicionado se toman los perfiles diarios de temperatura, humedad relativa y luminosidad de 3 áreas de máximo consumo del edificio. Estas áreas de máximo consumo se eligen y se definen debido a que cuentan con una gran cantidad de equipos eléctricos. Las áreas de consumo máximo se refieren principalmente a laboratorios de cómputo cuyos equipos consisten mayoritariamente en gran cantidad de computadoras, monitores y equipos de aire acondicionado, también se evalúan los mismos perfiles en una localización afuera del edificio y al aire libre para tener un punto de comparación entre los mismos.

Para realizar las mediciones se utilizan sistemas recolectores de datos continuos o “data loggers” los cuales son de modelo Hobo U12, se puede observar una imagen de los mismos en la Figura 5.2.



**Figura 5.2** Hobo data logger

Los equipos “data loggers” tomaron datos de manera continua cada 15 minutos, durante la semana del 25 de noviembre al 1 de diciembre del año 2013.

En el Cuadro 5.2 se muestra el equipo experimental utilizado en el desarrollo de este trabajo.

**Cuadro 5.2** Equipo de medición utilizado en la auditoría energética

<b>Equipo</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>
Analizador de energía	Fluke	Serie 435
Data logger	Hobo	Hobo U12

El equipo Fluke 435 fue facilitado por el Decanato de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica. Los equipos Hobos fueron facilitados por la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Costa Rica.

## **5.2 Evaluación financiera de las oportunidades de conservación de energía**

Luego de realizar un diagnóstico de la situación energética del edificio y de realizar un análisis sobre las posibles mejoras e implementación de las mismas se procede a enlistar las

posibles mejoras prácticas. Se estiman los posibles ahorros anuales y se evalúa financieramente cada opción de manera individual y por último de manera global.

Para evaluar económicamente las oportunidades de conservación de energía se utilizará la tasa interna de retorno (TIR), el valor actual neto (VAN) y el período de recuperación (PR). Para los flujos de caja anuales se considera el ahorro anual y sus variaciones debido a la inflación y el aumento anual de las tarifas eléctricas. En cada caso se utilizará el ciclo de vida útil de los equipos o materiales involucrados como el período útil del proyecto.

### **5.2.1 Criterios de aceptación del proyecto**

TIR: Para el TIR se utiliza como criterio de aceptación un  $TIR > COK$  (costo de oportunidad) El costo de oportunidad se refiere a una tasa de descuento aceptable como rendimiento mínimo del proyecto. Es decir es aquella tasa que se utiliza para determinar el valor actual de los flujos de efectivo esperados que genera un proyecto y representa el rendimiento que se le debe exigir proyecto por renunciar a un uso alternativo de los recursos financieros en proyectos de riesgo similares (Rodríguez, 2010). En el caso de este proyecto se utilizó la tasa básica pasiva (TBP) como tasa de descuento o costo de oportunidad ya que sería lo que un banco pagaría por tener depositado ese dinero en el mismo. Por lo tanto para propósitos de este trabajo como criterio de aceptación  $TIR > TBP$ .

VAN: Para el VAN se utiliza como criterio de aceptación del proyecto el  $VAN > 0$ . Un VAN positivo indica que los flujos de efectivo esperados que genere el proyecto permitirán recuperar la inversión inicial del negocio. Esto significa que el inversionista obtendrá un rendimiento mayor que su costo de oportunidad del capital lo cual incrementará los recursos económicos a disposición (Rodríguez, 2010).

PR: Mediante este caso se aceptan solo aquellos proyectos que recuperan su inversión dentro de cierto período (período de recuperación máximo aceptable) (Rodríguez, 2010). El período de recuperación máximo aceptable (PRMA) para los propósitos de este trabajo es la vida útil de cada equipo o materiales.

### 5.2.2 Datos financieros utilizados

Para estimar los aumentos anuales se analizan los datos de precios promedios para el sector general, que incluyen los años de 2007-2012. Se utilizarán estos datos dado que no fue posible encontrar un histórico de ventas para el sector preferencial. Los precios promedios anuales se muestran en el Cuadro 5.3.

**Cuadro 5.3** Precios promedio para la Tarifa General 2007-2012

Año	Precio promedio (¢/kW-h)
2007	56,54
2008	63,95
2009	85,61
2010	88,38
2011	79,99
2012	87,03

*Fuente:* (ARESEP, 2014)

No se pudo encontrar registros de ventas de la Autoridad Reguladora de Servicios Públicos (ARESEP) para la Tarifa Preferencial, la cual como se muestra en el Capítulo 6 es la aplicada al inmueble, sin embargo los ajustes de precio de la Tarifa General y la Tarifa Preferencial se realizan simultáneamente y con los mismos requerimientos por lo que se utilizará la Tarifa General en este trabajo para determinar un posible incremento en los precios de la energía eléctrica en años por venir.

Se puede evidenciar que existe un aumento de los precios de 56,93 % desde el 2007 al 2012 si se divide esta tasa entre los 6 años registrados se obtiene 9,50 % de aumento anual. Se utilizará esta tasa escalonada de crecimiento (TSE) para estimar los flujos de caja anuales en la evaluación financiera.

Se utilizará también un promedio de la variación interanual del IPC (Índice de precios al consumidor) de los años (2011-2013) para determinar los efectos de la inflación (TI). El valor a utilizar es de 4,27 % (Banco Central de Costa Rica, 2014).

Se usó una tasa básica pasiva de 6,75 %, la cual es el valor actual a la fecha de la realización de la evaluación, según el Banco Central de Costa Rica. Se puede verificar el dato en la cita (Banco Central de Costa Rica, 2014).

No se toma en cuenta la depreciación del equipo, debido a la dificultad de la Universidad de Costa Rica para vender o rentabilizar equipos de su propiedad.



## **CAPÍTULO 6**

### **RESULTADOS Y HALLAZGOS DE LA AUDITORÍA**

#### **6.1 Descripción general del edificio**

Antes de realizar un diagnóstico energético es importante brindar las características del inmueble a evaluar.

El edificio C de la facultad de ingeniería fue construido a finales de la década de 1960, por lo que desde esa fecha hasta la actualidad ha sufrido una serie de modificaciones en su funcionamiento y en su estructura interior. Debido a lo anterior se debe tomar en cuenta la particularidad de que los planos interiores originales del mismo no concuerdan con el funcionamiento actual.

Con base en los planos arquitectónicos originales el edificio se cuenta con un área bruta de 2 738 m<sup>2</sup>. Se encontró a través de las mediciones realizadas un área habitable o neta de 2 644 m<sup>2</sup>, distribuido en seis pisos.

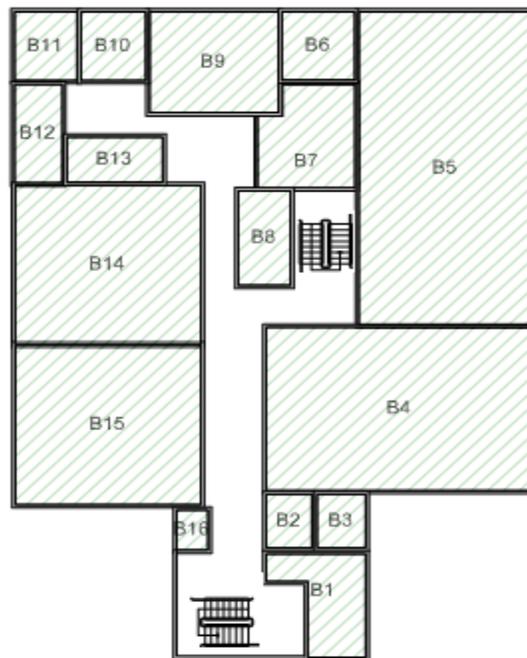
En su interior se cuentan con diferentes áreas utilizadas como oficinas, aulas, laboratorios, talleres, salas de estar, entre otros. La administración de la mayoría de los espacios de este edificio se da por el Decanato de la Facultad de Ingeniería la cual provee a su vez el mantenimiento y limpieza a gran parte del edificio.

En las siguientes figuras se muestran los diagramas de distribución del edificio auditado, los diagramas son presentados por piso, las áreas blancas corresponden a pasillos mientras que las áreas verdes corresponden a áreas de estar o de trabajo común.

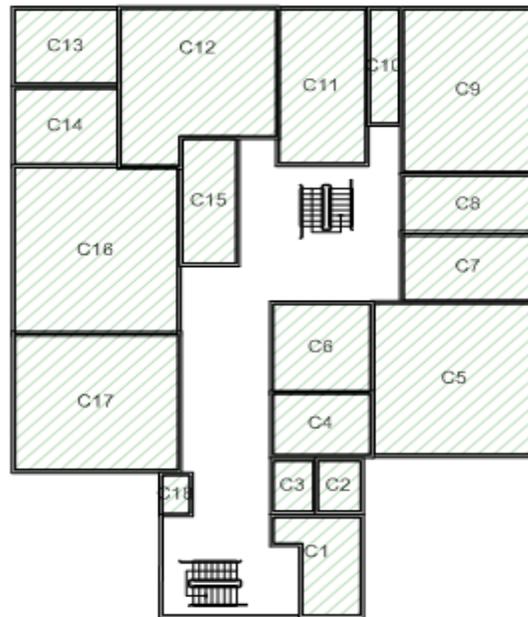
En el Apéndice A de este trabajo se puede encontrar la nomenclatura de los espacios esquematizados así como su uso final y la magnitud de su área.



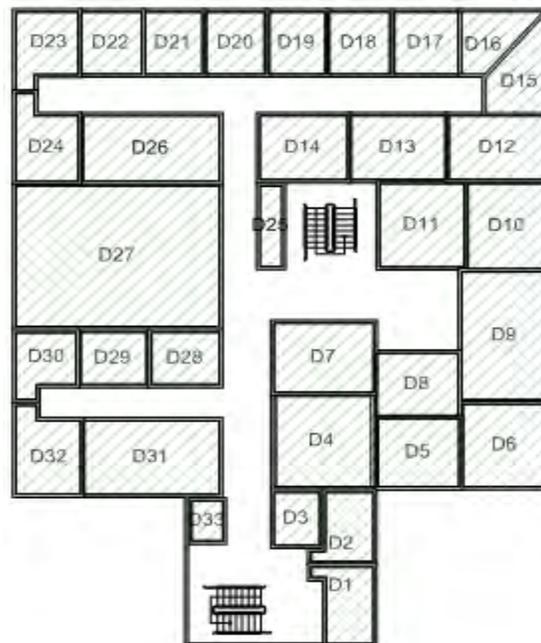
**Figura 6.1.** Diagrama de distribución del primer piso



**Figura 6.2** Diagrama de distribución del segundo piso



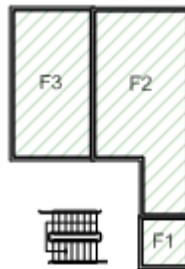
**Figura 6.3** Diagrama de distribución del tercer piso



**Figura 6.4** Diagrama de distribución del cuarto piso



**Figura 6.5** Diagrama de distribución del quinto piso



**Figura 6.6** Diagrama de distribución del sexto piso

Se debe resaltar que las diversas áreas del edificio son administradas por cada una de las escuelas que se instalan en el mismo. Las escuelas que tienen instalaciones son: la Escuela

de Ingeniería Mecánica, Escuela de Ingeniería Industrial, Escuela de Ingeniería Química, Escuela de Ingeniería Topográfica, y la Escuela de Ingeniería Agrícola. Esta subdivisión de la administración dificulta el acceso a muchas de las áreas en cuestión y así mismo no permite un formato o patrón único de equipos para cada una de las áreas auditadas.

Al realizar una inspección inicial del interior del edificio y consultar con los encargados de diferentes áreas se encuentra que la energía suministrada al interior del mismo es meramente energía eléctrica la cual a través de los diferentes equipos en el edificio se transforma en energía lumínica, calórica, o mecánica. La energía eléctrica suministrada al edificio es brindada por la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL). Los medidores del edificio entran dentro de la Tarifa Preferencial para instituciones públicas.

Para medir la cantidad de energía eléctrica suministrada, el edificio cuenta con 2 medidores y sus respectivos transformadores; el medidor con localización 7404551125 (Secundario) el cual se refiere a la energía suministrada al taller de ingeniería mecánica y el medidor con localización 7404551130 (Principal) el cual se refiere a la energía dispuesta al resto del edificio. Se realiza esta separación debido a los equipos dentro del taller son equipos industriales y por seguridad y requerimientos necesitan un sistema de suministro y medición independiente.

Debido a la existencia de este equipo industrial la energía eléctrica se suministra a un voltaje de 240 voltios. El medidor encargado de monitorear estos consumos se encuentra en la parte noroeste del edificio, ubicado en la parte exterior del área A8 (Taller de Ingeniería Mecánica) contiguo a los transformadores correspondientes. El tablero encargado del control de suministro de energía se encuentra dentro del taller.

El resto del edificio C distribuye su energía a través de un transformador principal ubicado dentro de la primera planta del edificio, en el área A9 (Cuarto del transformador) y donde de manera adyacente se encuentra el tablero principal de control del edificio. La energía suministrada al resto del edificio se distribuye por medio de una configuración tipo estrella configurada a un voltaje de 208 voltios, entre las líneas y de 120 voltios entre las líneas de suministro y el neutro.

## 6.2 Análisis tarifario

Un estudio del estado tarifario es importante dentro de una auditoría energética debido a que con solo aplicar un cambio de tarifa que se ajuste de manera más completa a las necesidades y requerimientos energéticos del cliente, puede significar un ahorro significativo.

La compañía nacional de fuerza y luz cuenta con diferentes tarifas según el tipo de cliente final al cual llegue la energía. En el Cuadro 6.1 se muestra los últimos precios y tarifas vigentes para el período del 1 abril al 30 de junio del 2014.

**Cuadro 6.1** Tarifas eléctricas vigentes, publicadas en la gaceta 190 del 1 de abril del 2014

CNFL		Rige del 1 abril al 30 junio de 2014
Sistema de distribución		Tarifa (¢)
<b>T-RE Residencial</b>	Primeros 200 kW-h	72
	Siguientes 100 kW-h	110
	Por cada kW-h adicional	113
<b>T-ReH residencial horaria</b>		
De 0 a 300 kW-h		
Punta (de 10:00 a 12:30 y de 17:30 a 20:00)	Por cada kW-h	152
Valle (de 6:00 a 10:00 y de 17:30 a 20:00)	Por cada kW-h	63
Nocturno (de 20:00 a 6:00)	Por cada kW-h	26
De 301 a 500 kW-h		
Punta (de 10:00 a 12:30 y de 17:30 a 20:00)	Por cada kW-h	173
Valle (de 6:00 a 10:00 y de 17:30 a 20:00)	Por cada kW-h	70
Nocturno (de 20:00 a 6:00)	Por cada kW-h	30
Más de 500 kW-h		
Punta (de 10:00 a 12:30 y de 17:30 a 20:00)	Por cada kW-h	205
Valle (de 6:00 a 10:00 y de 17:30 a 20:00)	Por cada kW-h	83
Nocturno (de 20:00 a 6:00)	Por cada kW-h	38

**Cuadro 6.1 (Continuación)** Tarifas eléctricas vigentes, publicadas en la gaceta 190 del 1 de abril del 2014

CNFL		Rige del 1 abril al 30 junio de 2014
<b>T-GE General</b>		
Menos de 3 000 KW-h	Cada kW-h	121
Más de 3 000 KW-h	Mínimo 8 kW	91 088
	Por cada kW adicional	11 386
	Mínimo 3 000 kW-h	219 000
	Por cada kW-h adicional	73
<b>T-CS Preferencial</b>		
Menos de 3 000 kW-h	Cada kW-h	81
Más de 3 000 kW-h	Mínimo 8 kW	60 680
	Por cada kW adicional	7 585
	Mínimo 3000 kW-h	141 000
	Por cada kW-h adicional	47
<b>T-MT Media Tensión</b>		
Cargo por potencia		
Punta (de 10:00 a 12:30 y de 17:30 a 20:00)	Por cada kW	10 808
Valle (de 6:00 a 10:00 y de 17:30 a 20:00)	Por cada kW	7 690
Nocturno (de 20:00 a 6:00)	Por cada kW	4 882
Cargo por energía		
Punta (de 10:00 a 12:30 y de 17:30 a 20:00)	Por cada kW-h	62
Valle (de 6:00 a 10:00 y de 17:30 a 20:00)	Por cada kW-h	31
Nocturno (de 20:00 a 6:00)	Por cada kW-h	22

Particularmente industrias con horarios flexibles y manipulables de producción pueden ajustar sus horarios de operación y sus métodos de producción a horarios y tarifas económicamente más favorables para sus intereses. Así una compañía puede generar más ahorros trabajando en la Tarifa de Media Tensión donde la mayor parte de su producción se realice en horas nocturnas y valles para ahorrar más dinero, a que si lo realizará dentro de una tarifa plana donde no tendría valor agregado los cambios de horario. Para implementar un cambio tarifario es necesario realizar un análisis de rentabilidad que tome en cuenta

factores externos como costos de logística y mano de obra, así como un análisis detallado del comportamiento de la demanda energética del edificio.

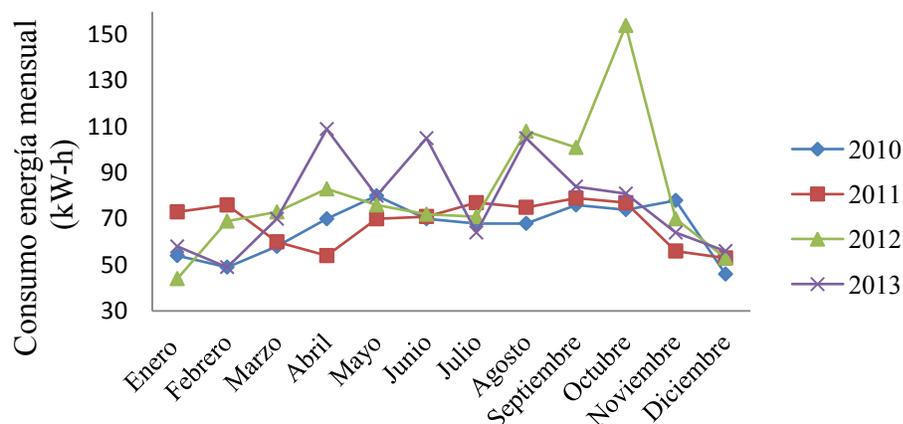
Los medidores de interés, se encuentran dentro de la Tarifa Preferenciales para instituciones públicas. Esta tarifa es una tarifa plana y los recargos no dependen de las horas de consumo, solamente de la cantidad de energía consumida y la potencia máxima demandada. Estos dos parámetros son las bases para la facturación mensual, sin embargo multas por recargo, transformación, factor de potencia y servicios de alumbrado público pueden facturarse mensualmente.

En el caso del edificio a auditar el cual tiene un consumo mensual superior a los 3 000 kW; no se considera un cambio tarifario para el medidor del edificio debido a que al tener una Tarifa Preferencial los precios por energía consumida y demanda son menores a los de la Tarifa General. Tampoco se considera un cambio a la Tarifa de Media Tensión debido a que esta requiere un consumo mínimo mensual de 20 000 kW-h y como se puede comprobar en la siguiente sección, ninguno de los dos medidores cumple con ese requisito. Por lo tanto se considera que el sistema tarifario con que cuenta el edificio auditado es el mejor.

Para el presente análisis se utilizarán los precios para la Tarifa Preferencial mostrados en el Cuadro 6.1 para calcular potenciales ahorros y costos operativos. Se utilizará 47 ¢/kW-h como el precio por consumo energético y 7 585 ¢/kW como precio por demanda máxima debido a estos costos.

### **6.3 Análisis del consumo energético**

Para entender el comportamiento energético del edificio se procede a analizar los históricos de consumo de los dos medidores del inmueble. Seguidamente se muestran los registros de los consumos de los últimos 4 años para los dos medidores descritos anteriormente. Los datos fueron suministrados por la Compañía Nacional de Fuerza y Luz y se complementaron con los recibos de facturación que se almacenan en la oficina del archivo de la Universidad de Costa Rica.



**Figura 6.7** Consumo de energía mensual registrado en los últimos 4 años para el medidor secundario

La Figura 6.7 muestra el histórico de consumo registrado por el medidor secundario. La variabilidad que se observa en la figura anterior es efecto del número de proyectos asignados al laboratorio durante los meses correspondientes, así como a la adquisición de nuevos equipos a través del paso del tiempo.

Ninguno de los registros cuenta con consumos mayores a los 160 kWh, y debido a que el medidor registra consumos menores a 3 000 kWh la Compañía Nacional de Fuerza y Luz no registra ningún otro parámetro como demanda, factor de potencia y factor de carga.

La facturación de los últimos 4 años de este medidor se muestra a en el Cuadro 6.2, se pueden comparar las magnitudes de cobro con respecto al medidor principal, cuyo historial de facturación se encuentran en el Cuadro 6.3.

**Cuadro 6.2** Facturación mensual de los últimos cuatro años para el medidor secundario

Mes	Facturación mensual (₡)			
	2010	2011	2012	2013
Enero	3 585	3 825	3 775	4 220
Febrero	4 310	5 270	3 090	4 655
Marzo	3 890	5 490	4 910	3 935
Abril	3 635	4 175	5 110	5 860
Mayo	4 995	3 685	5 660	10 005

**Cuadro 6.2 (Continuación)** Facturación mensual de los últimos cuatro años para el medidor secundario

Mes	Facturación mensual (₡)			
	2010	2011	2012	2013
Junio	5 750	1 985	5 185	7 220
Julio	5 030	5 690	4 915	9 635
Agosto	4 845	5 485	4 845	5 775
Septiembre	4 885	4 710	7 495	9 595
Octubre	5 470	5 590	6 965	7 065
Noviembre	5 345	5 485	11 090	6 070
Diciembre	5 630	3 990	4 985	4 685

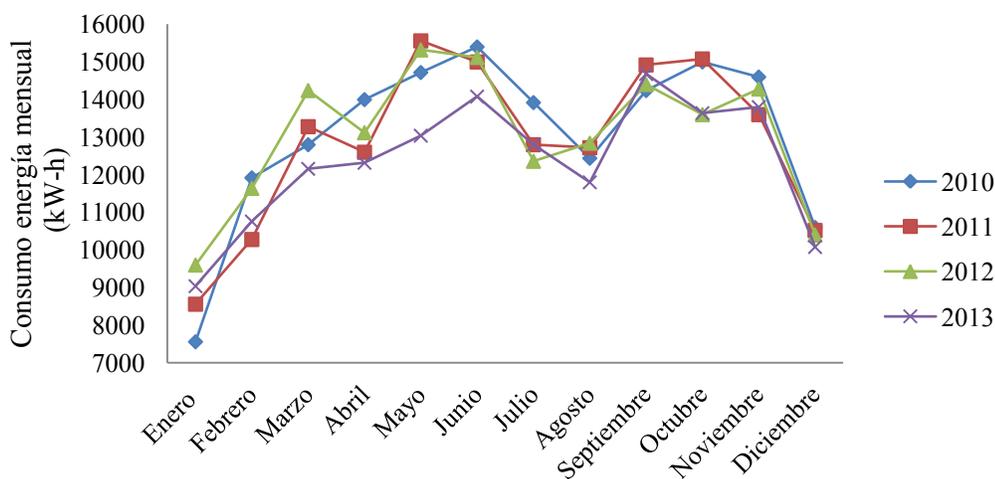
Debido a que los gastos involucrados en el consumo energético de este sector no significan un gasto monetario significativo, ni un consumo de energía representativo, la mayor parte del análisis se enfocará en el medidor principal y los equipos conectados al mismo. El Cuadro 6.3 presenta un registro de las facturaciones de los últimos 4 años para este medidor.

**Cuadro 6.3** Facturación Mensual de los últimos cuatro años para el medidor principal

Mes	Facturación mensual (₡)			
	2010	2011	2012	2013
Enero	559 420	618 740	635 880	677 700
Febrero	815 520	712 105	751 705	810 385
Marzo	874 435	892 275	926 185	977 405
Abril	956 145	883 995	877 110	1 111 275
Mayo	1 012 075	1 044 905	1 008 575	1 113 970
Junio	1 029 760	1 054 035	972 835	1 200 685
Julio	963 645	894 615	822 010	1 075 985
Agosto	825 940	880 660	834 705	1 010 610
Septiembre	964 695	993 145	922 605	1 203 340
Octubre	1 004 625	997 590	885 510	1 004 075
Noviembre	999 425	908 965	957 425	950 745
Diciembre	771 570	762 430	755 270	756 295

El Cuadro 6.3 hace referencia el histórico de facturación del servicio energético brindado al edificio auditado. Los montos de facturación exceden el millón de colones mensuales

durante los meses de mayor ocupación, lo cual se considera un gasto significativo en el mantenimiento de la infraestructura. Si se comparan las facturaciones por los dos medidores es evidente resaltar que la mayor cantidad de cargas se realiza sobre el medidor principal, mientras que el medidor secundario maneja cargas pequeñas y de uso ocasional.



**Figura 6.8** Consumo de energía mensual registrado en los últimos 4 años para el medidor principal

La Figura 6.8 deja en evidencia el perfil de consumo típico para los diferentes meses del año. Es notable como los picos de consumo se dan durante los períodos de mayor ocupación del edificio, correspondiente a los meses en que los ciclos lectivos universitarios se encuentran activos. Los meses de abril, mayo, junio, julio, septiembre, octubre, y noviembre son los meses en los que el edificio alcanza su tope máximo de actividad y por ende un mayor consumo energético. Analizando los datos mostrados en la Figura 6.8 se puede determinar entonces que el consumo energético promedio para el edificio durante estos meses ronda los 13 888,75 kW-h mensuales.

En total en el año 2013 se consumieron un total de 149 125 kW-h para los dos medidores analizados, basados en estos datos y en el área del edificio presentado en los planos recolectados se puede calcular el Índice de Utilización de Energía (EUI) en el Cuadro 6.4.

**Cuadro 6.4** Índice de utilización de la energía para el edificio (EUI) para el año 2013

Energía consumida 2013 (kW-h)			Area bruta (m <sup>2</sup> )	EUI (kW-h/ m <sup>2</sup> )
Principal	Secundario	Total		
148 200	925	149 125	2 737,94	54,56

Para establecer un punto inicial y objetivos de mejora en el uso eficiente de la energía se puede comparar el índice calculado en el Cuadro 6.4, con los índices de otros edificios. La comparación con otros índices y edificios debe de realizarse con precaución debido a que los factores climatológicos influyen directamente en el índice debido a la utilización de más equipo de calefacción o enfriamiento.

Otro factor a tener en cuenta es que en muchos edificios no solo se utiliza energía eléctrica. Muchos edificios cuentan con sistema de generación a partir de combustibles fósiles o utilización de sistemas de vapor para calefacción, por lo anterior se establecen índices como el EEUI (Índice de Utilización de Energía Eléctrica) que solo toman en cuenta la utilización de un solo tipo de energía.

Debido a la falta de registros de estos índices en nuestra zona climatológica y a que el edificio solo utiliza energía eléctrica, se comparara el EUI calculado con los índices de utilización de energía eléctrica de otros edificios registrados por ASHRAE.

Basados en su EEUI, se muestran el Cuadro 6.5 la distribución estadística de diferentes edificios universitarios registrados por la Sociedad Americana de Calefacción Refrigeración y Aire Acondicionado, (ASHRAE).

**Cuadro 6.5** EEUI en edificios universitarios

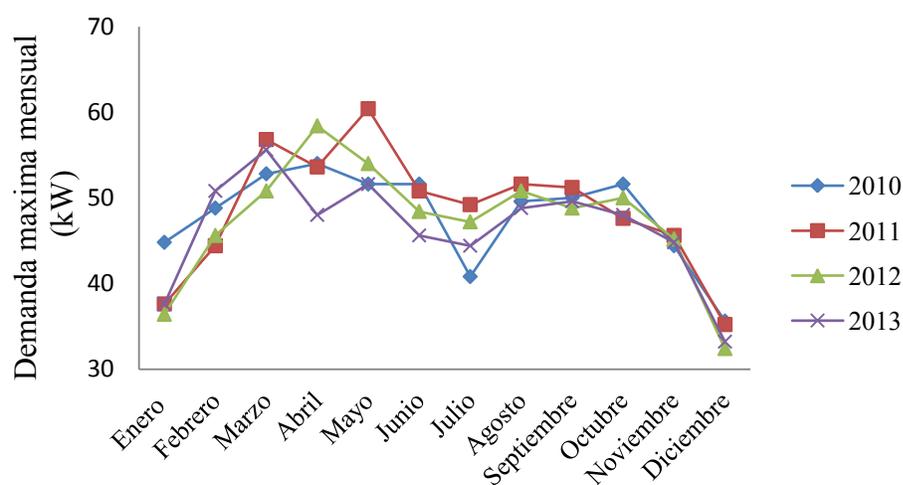
	Percentiles					Media
	10	25	50	75	90	
<b>EEUI (kW/m<sup>2</sup>*año)</b>	44	113	162	259	455	191

Al comparar el índice calculado con la distribución mostrada anteriormente se determina que el inmueble auditado se encuentra dentro del ámbito de (10-25) % de los edificios

registrados. De esta manera se puede afirmar con las precauciones del caso que el inmueble se encuentra entre los edificios con mejor desempeño energético.

#### 6.4 Análisis de la demanda

Para consumidores no residenciales se realiza el cobro de la demanda máxima. Como ya se explico en la Sección 4.2 este parámetro es un promedio de las potencias máximas requeridas en determinado período de tiempo, en este caso 15 min. Las demandas máximas registradas en los últimos cuatro años se muestran en la Figura 6.9.



**Figura 6.9** Demanda máxima mensual registrada en los últimos 4 años para el medidor principal

Es posible observar de la figura anterior que los mayores picos de demanda se producen en los meses de marzo, abril y mayo, otros meses como septiembre octubre y noviembre poseen altas demandas pero en menor proporción. Los meses anteriores corresponden a los meses en que existe una ocupación alta dentro del edificio debido a que los cursos lectivos están completamente activos.

La incidencia climatológica es un factor determinante, meses con mayor temperatura ambiente e incidencia en la radiación solar como marzo, abril y mayo son los que registran

mayor demanda, particularmente debido al uso de equipos de aire acondicionado. El Cuadro 6.6 muestra los valores representativos climatológicos para la provincia de San José, donde se ubica el inmueble.

**Cuadro 6.6** Recopilación de datos climatológicos por mes

Mes	Promedio anual de temperatura ambiente mínima San José, Costa	Promedio anual de temperatura ambiente máxima San José, Costa	Promedio anual de la cantidad de radiación solar recibida en Costa Rica
	Rica (°C)	Rica (°C)	Rica (MJ/m <sup>2</sup> )
Enero	16,3	22,9	16,5
Febrero	16,5	23,6	16,5
Marzo	16,8	24,6	18,9
Abril	17,4	25,5	18,9
Mayo	18,1	26,1	16,3
Junio	18,0	26,2	14,8
Julio	18,0	25,4	15,0
Agosto	17,9	25,8	15,0
Septiembre	17,6	26,3	14,0-16,0
Octubre	17,5	25,4	14,6
Noviembre	17,2	23,9	14,1-14,4
Diciembre	16,8	23,1	14,1-14,4

*Fuente:* (Instituto Meteorológico de Costa Rica, 2014) y (Dyes, 2009)

Como se puede observar en el Cuadro 6.6 aunque las temperaturas máximas ambientales son alcanzados en meses como septiembre, probablemente debido a factores relacionados a la humedad, la radiación solar presenta sus mayores magnitudes en los meses de marzo, abril y mayo, por lo que existe una relación importante entre la radiación solar absorbida y los meses de mayor demanda del edificio.

La acumulación de energía debido a la radiación solar incide directamente en el comportamiento energético del edificio. Esa energía acumulada debe ser retirada para generar un confort térmico adecuado de los ocupantes, por lo que es necesaria la utilización de unidades de aire acondicionado. Las unidades de aire acondicionado son los equipos que mayor potencia requieren en el inmueble, su uso simultaneo en combinación con la alta ocupación determinan las demanda máximas analizadas anteriormente.

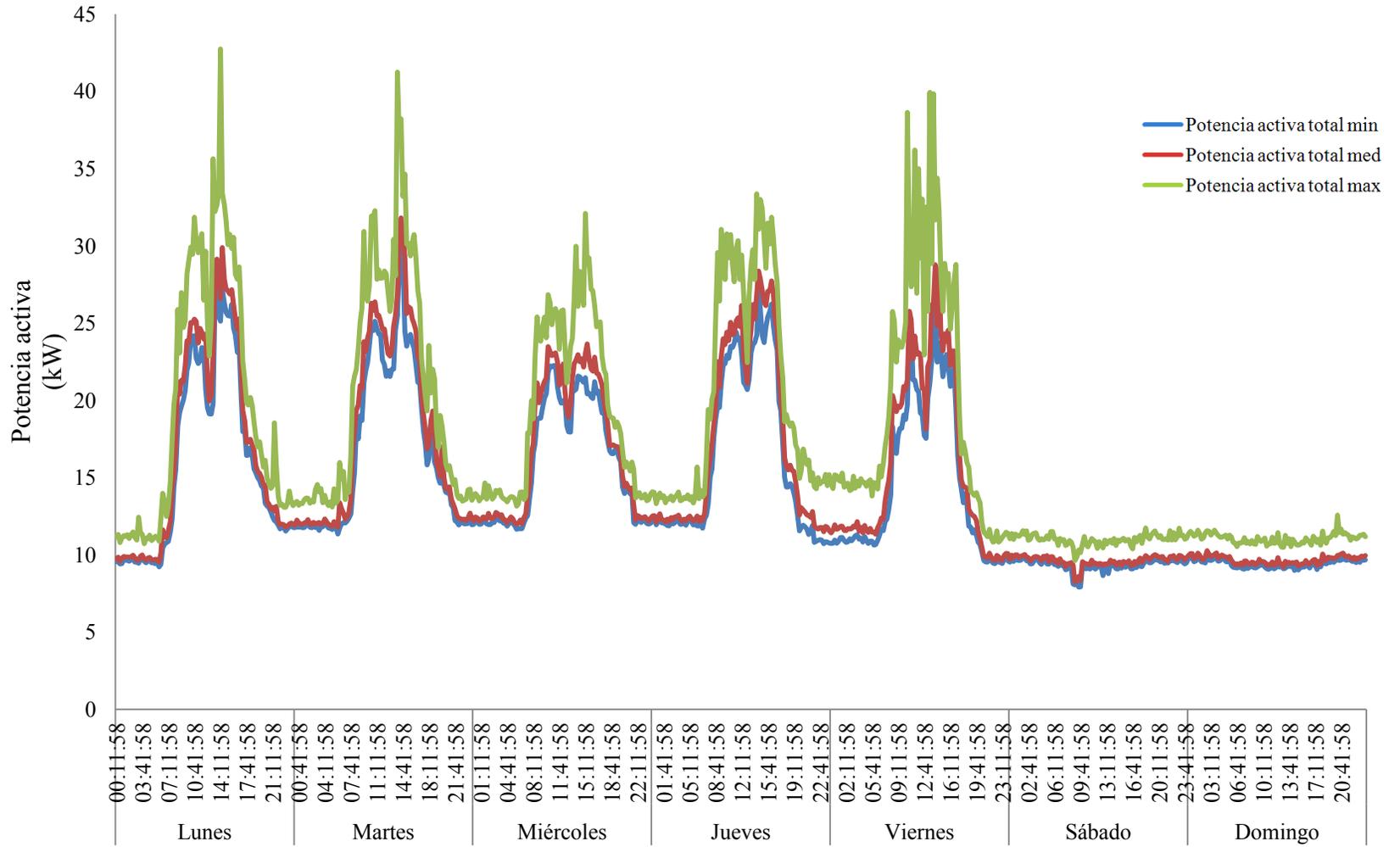
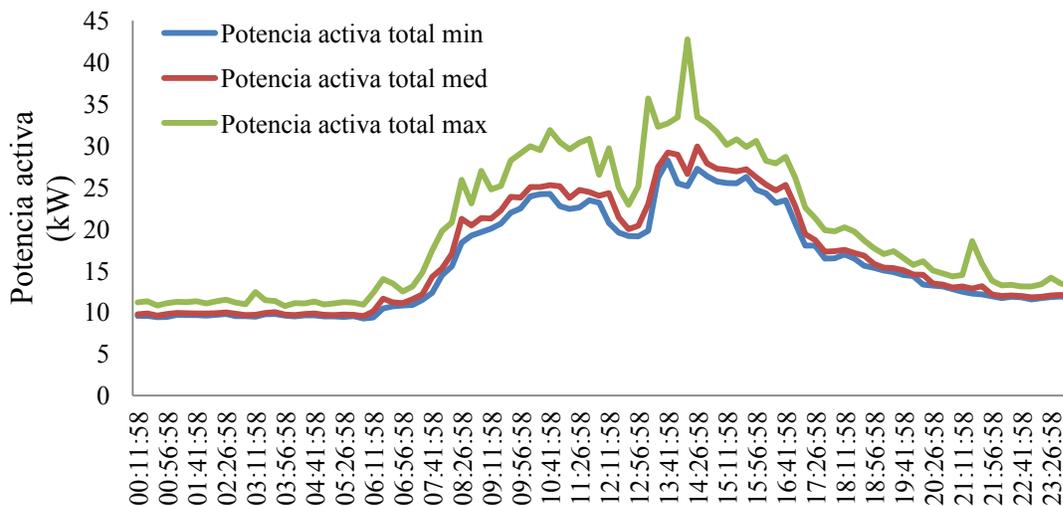


Figura 6.10 Curva de demanda semanal en período de baja ocupación

Para verificar los perfiles de potencia se realizaron dos mediciones semanales de la potencia eléctrica, una en un período de baja ocupación y otra en un período de alta ocupación. Las mediciones se realizan con un sistema analizador de energía Fluke 435 que registra los puntos máximos, mínimos y promedios de potencia en intervalos de 15 minutos. Las curvas de potencia requerida típicas semanales en la Figura 6.10 y en la Figura 6.13.

La Figura 6.10 muestra el comportamiento de la potencia requerida por el edificio en el transcurso de una semana en el período de baja ocupación. Es importante observar un pico máximo de 42,76 kW, este valor concuerda con los valores de demanda máxima mostrados en la Figura 6.7 y los cuales fueron registrados por la CNFL para el mes de febrero de años anteriores, mismo mes en el cual se realizó la medición con el analizador de energía.

En la Sección 4.3 se definió la demanda como el promedio de las potencias instantáneas en un determinado intervalo de tiempo, por lo que se consideran las potencias medias registradas por el medidor como las demandas en este trabajo.



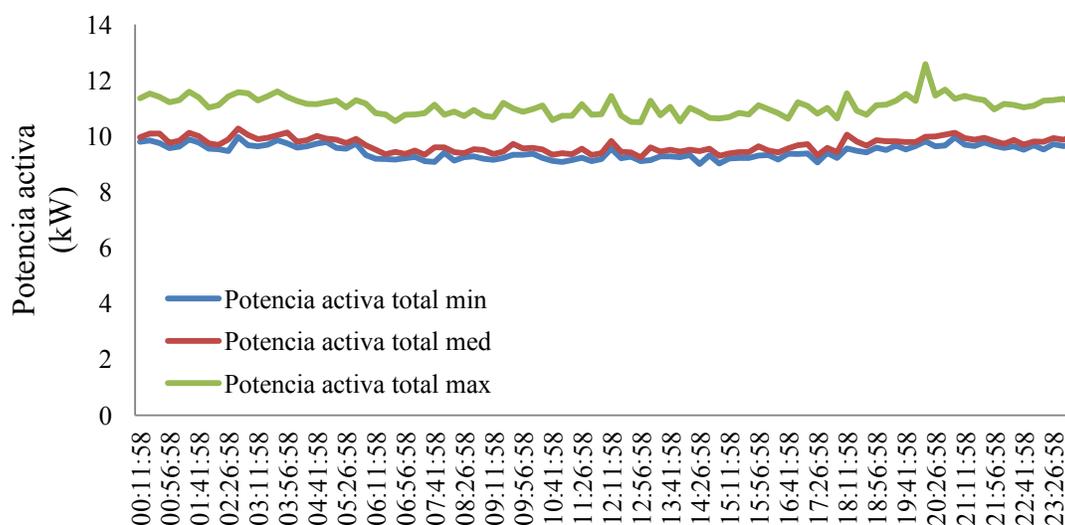
**Figura 6.11** Curva de demanda diaria para el día lunes en período de baja ocupación

Se puede observar en la Figura 6.11 la potencia requerida por el edificio durante las diferentes horas del día en un período de ocupación baja. El edificio comienza a trabajar

normalmente a partir de las 7:00, es decir donde comienza la ocupación normal del mismo. A partir de esta hora se muestra un comportamiento lineal normal que persiste hasta minutos antes de medio día, donde se encuentra un valle de consumo debido a las horas de almuerzo y a que muchos de los funcionarios abandonan el edificio y sus computadores durante esta hora.

El pico máximo registrado es de 42,75 kW durante este día. El período pico de demanda llega en momentos antes de las 14:00, debido a que por factores climatológicos y a el calor disipado por el equipo de oficina, se genera un malestar en el confort térmico de los ocupantes lo que obliga a la utilización de los sistemas de aire acondicionado. Después de este período se alcanza una estabilidad de nuevo en la demanda cercana a los 20 kW, esto hasta momentos antes de las 16:30, hora en que la mayoría de los funcionarios administrativos dejan de trabajar y comienzan a abandonar el edificio.

Es importante obtener una medición de la energía requerida por el edificio cuando este no está ocupado, esto para verificar si existen requerimientos adicionales de energía mas allá de los necesarios para el desarrollo del trabajo diario de los ocupantes, se muestran seguidamente los datos recolectados.



**Figura 6.12** Curva de demanda diaria para el día domingo en período de baja ocupación

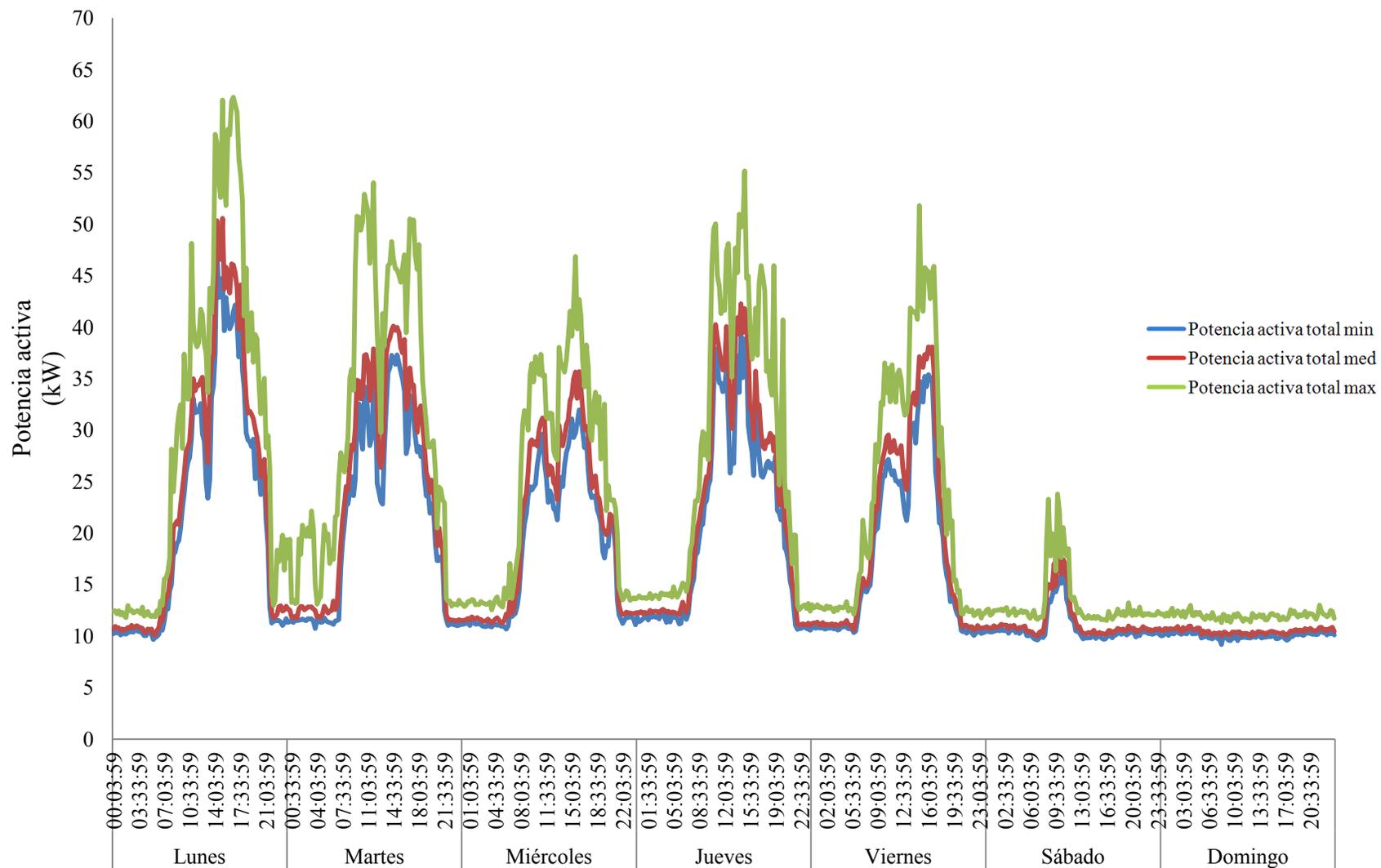
La Figura 6.12 muestra que existe un requerimiento de energía significativo aunque el edificio se encuentre desocupado. Particularmente en horarios nocturnos y fines de semana se tiene una demanda de 9,60 kW en promedio, la cual se debe a equipo que se deja conectado dentro del edificio y se mantiene sin utilización.

Como se discutirá en párrafos posteriores, mucho de este mal uso se debe a la mala manipulación del equipo y se puede corregir mediante directrices de la administración y la concientización y educación de los ocupantes. Luego de establecer los parámetros característicos de los períodos de baja ocupación se procede a realizar las mismas mediciones de potencia y demanda para el período de alta ocupación, los datos obtenidos con el analizador de energía se muestran en la Figura 6.13.

La Figura 6.13 deja en evidencia el perfil de demanda energética semanal del edificio para los meses de alta ocupación. Es evidente un aumento en las horas de trabajo por lo que el consumo de energía aumenta en gran medida en comparación con el período estacional anterior.

El pico máximo de demanda se alcanza el día lunes cerca de las 14:00 y corresponde a un valor de 50,55 kW, sin embargo horas después la potencia instantánea alcanza su valor máximo cerca de las 16:30 con valor de 62,32 kW. Aunque el valor facturado en este caso sería la demanda máxima, de la potencia máxima instantánea sirve como parámetro de que tan alto puede elevarse la demanda actual del edificio.

Particularmente el comportamiento que se muestra entre la diferencia de la potencia máxima y la demanda máxima se puede adjudicar a equipos que trabajan de manera intermitente. Por ejemplo si se utilizó un equipo de aire acondicionado de gran capacidad pero existía una temperatura cercana a la deseada por el usuario el compresor pudo encenderse por 5 min y luego apagarse repentinamente. Por lo cual la incidencia de la potencia máxima en la potencia promedio no será tan significativa.

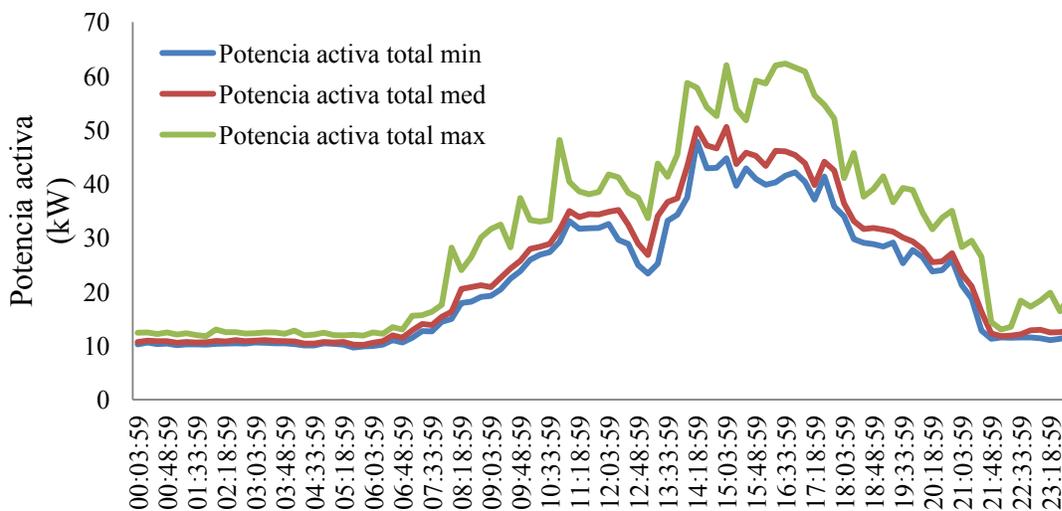


**Figura 6.13** Curva de demanda semanal en período de alta ocupación

De manera alterna si existe una gran diferencia de temperatura entre la temperatura ambiente en el área donde existe el equipo de aire acondicionado y la temperatura requerida por el usuario, se necesitara más tiempo en trabajo a máxima potencia del compresor por lo que la influencia de la potencia máxima será mayor en el ponderado de la demanda.

Este comportamiento explica el porqué las demandas máximas del edificio se realizan durante los meses de marzo, abril y mayo, períodos en los cuales el calor emitido por la radiación solar se acumula dentro de las áreas a acondicionar y generan mayores cargas de trabajo para los equipos de acondicionamiento del aire

Se puede observar de manera más detallada los comportamientos descritos con anterioridad en la Figura 6.14.



**Figura 6.14** Curva de demanda diaria para el día lunes en el período de alta ocupación

La Figura 6.14 muestra el perfil de demanda diario, se puede observar que los periodos picos de potencia y demanda se presentan en el transcurso de la tarde.

En el edificio se cuenta con 3 laboratorios de computación principales, con más de 20 computadoras y equipos de aire acondicionado de capacidades de 14,06 kW (48 000 Btu/h) a 17,58 kW (60 000 Btu/h). Así mismo se cuenta con un laboratorio de termofluidos que posee una serie de motores eléctricos y bombas las cuales se utilizan para prácticas tres

veces a la semana. Las cargas máximas instaladas de estas 4 áreas se muestran en el Cuadro 6.7:

**Cuadro 6.7** Áreas de máxima demanda.

Localización	Descripción	Potencia instalada (kW)
C5	LAINII 1	8,42
C9	LAINII 2	8,50
C17	Laboratorio de computación de Ingeniería Topográfica	9,15
B2	Laboratorio de termofluidos de Ingeniería Mecánica	7,36

La utilización de estas áreas influye de manera significativa en la demanda máxima registrada por el edificio. Se puede comparar los perfiles de potencia mostrados en la Figura 6.11 y en la Figura 6.12 con el horario presentado en el Cuadro 6.8.

**Cuadro 6.8** Horarios de clase de las áreas con mayor capacidad

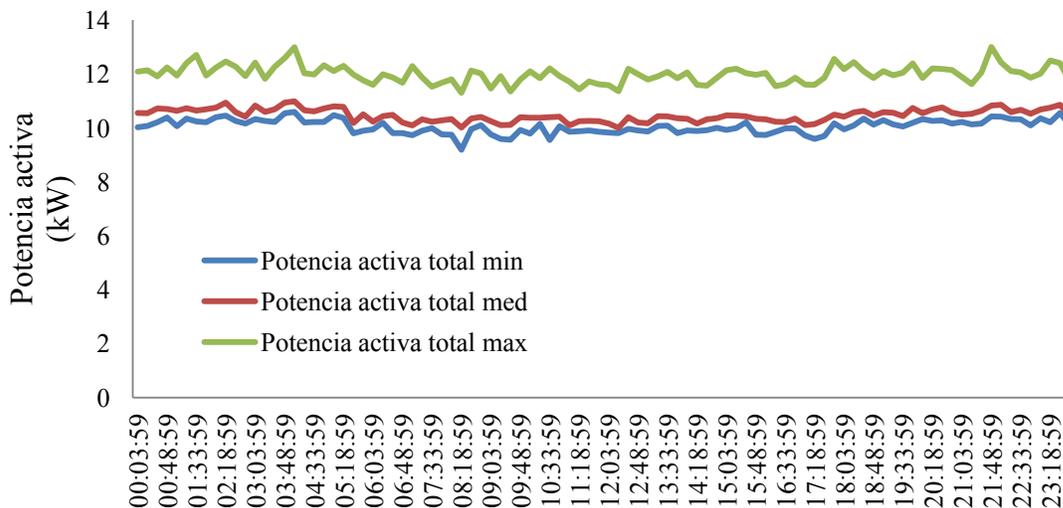
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
7:00 a 8:00		C9	C17 C5 C9			C17
8:00 a 9:00		C9	C17 C5 C9			C17
9:00 a 10:00		C9	C17 C5 C9			C17
10:00 a 11:00	C9	C17 C9	C17 C5 C9	C9	C5	C17
11:00 a 12:00	C9	C17 C9	C5	C9	C5	C17
12:00 a 13:00	C9	C17		C9		
13:00 a 14:00	C17 B2	C9		C17 C9		
14:00 a 15:00	C17 C5 B2	C9 B2		C17 C9		
15:00 a 16:00	C17 C5 B2	C9 B2		C17 C9		
16:00 a 17:00	C5 C9 B2	C17 B2		C17	C17 C9	
17:00 a 18:00	C17 C5 C9	C17 C9 B2	C17 C9	C17 B2	C17 C9	
18:00 a 19:00	C17	C17 C9	C17 C9	C17 B2	C17 C9	
19:00 a 20:00	C17	C17 C9	C17	C9 B2	C17 C5	
20:00 a 21:00	C17	C17 C9	C17	C9 B2	C17 C5	
21:00 a 22:00	C17	C17 C9	C17	C9	C17 C5	

Es posible a partir del Cuadro 6.8 determinar que los picos de demanda máximos se realizan en los períodos donde al menos 3 de estas áreas se encuentran en funcionamiento.

Se recomienda para disminuir los picos de demanda ajustar las clases en estas áreas de manera que solo una de ellas este activas durante las horas picos del día (13:00 a las 17:00) para evitar que la potencia requerida por estas zonas se adicione a la potencia demandada por las áreas administrativas.

En adición es recomendable la utilización de estas áreas fuera de estas horas para disminuir el uso de los equipos de acondicionamiento del aire, debido a que es en este horario cuando el inmueble presenta la mayor acumulación de calor. Se insta a utilizar las horas de la mañana y de la noche si no se pueden evitar los choques de horario de las áreas mencionadas anteriormente.

Si se toma un valor promedio para estimar las potencias de estas áreas es decir 8,35 kW, y se espera la reducción de esta demanda durante el período de demanda máxima se puede obtener un ahorro mensual de hasta ¢ 63 364,75, según el costo por demanda mostrado en el Cuadro 6.1 para la Tarifa Preferencial.



**Figura 6.15** Curva de demanda diaria para el día domingo en el período de alta ocupación

De manera similar y tal como ocurre en la Figura 6.12, se registra durante este período cargas fijas que se manifiestan cuando no hay ocupantes dentro del edificio. Para este período se encontró una potencia media de 10,47 kW en períodos donde el edificio está completamente desocupado.

Según la inspección realizada y las consultas con los administradores esa carga se debe en su mayor parte a las instalaciones de iluminación de los pasillos del edificio que se dejan encendidas para evitar el daño producido por plagas en la noche. El efecto que esta medida tiene es de una demanda de potencia de 6,73 kW según cálculos basados en el inventario realizado, el resto de las cargas se refieren a equipo de refrigeración cuya potencia total es de 0,89 kW y equipo de uso continuo de computación en los módulos de informática (IDFs y F1-50) cuya potencia total es de 0,72 kW, así mismo las fotocopiadoras se encuentran en estado ocioso durante las 24 horas y no se desconectan para evitar desconfiguraciones implican una demanda de potencia de 0,54 kW. Estos cuatro sectores suman una carga total de 8,87 kW. La diferencia con los datos medios en estos períodos se pueden explicar por la existencia de cargas parasíticas y fluctuaciones en las potencias de los equipos.

Un equipo con luces de encendido que se encuentran parpadeando, a pesar de no tener ninguna utilización, es un ejemplo de lo que se clasificaría como un equipo electrónico que consume energía cuando está apagado. Este uso de la energía eléctrica es clasificado como una carga fantasma o parasítica. Las cargas parasíticas coinciden normalmente con el equipo electrónico, equipos con relojes o “timers” y controles remotos, y el equipo de oficina en general requieren de este tipo de cargas. Las cargas fantasmas pueden llegar a consumir un 5 % del total de energía del edificio. La mejor manera de disminuir estas cargas es desconectar todos los equipos completamente cuando no haya riesgo de pérdida de información (ASHRAE, 2011).

Se puede estimar las cargas parasíticas como la diferencia entre la demanda media en estos períodos y las cargas que se establecieron en párrafos anteriores, es decir se tienen 1,6 kW de demanda no utilizados en los períodos de no ocupación.

**Cuadro 6.9** Resumen de parámetros registrados con el analizador de energía

<b>Parámetro</b>	<b>Período de baja ocupación</b>	<b>Período de alta ocupación</b>	<b>Porcentaje de crecimiento (%)</b>
<b>Potencia máxima (kW)</b>	42,75	62,32	45,78
<b>Demanda máxima (kW)</b>	31,82	50,55	58,86
<b>Demanda máxima en períodos de no ocupación (kW)</b>	9,69	10,47	7,45
<b>Consumo diario máximo (kW-h)</b>	436,42	576,67	32,13
<b>Consumo Semanal (kW-h)</b>	2 027,60	3 161,00	55,89

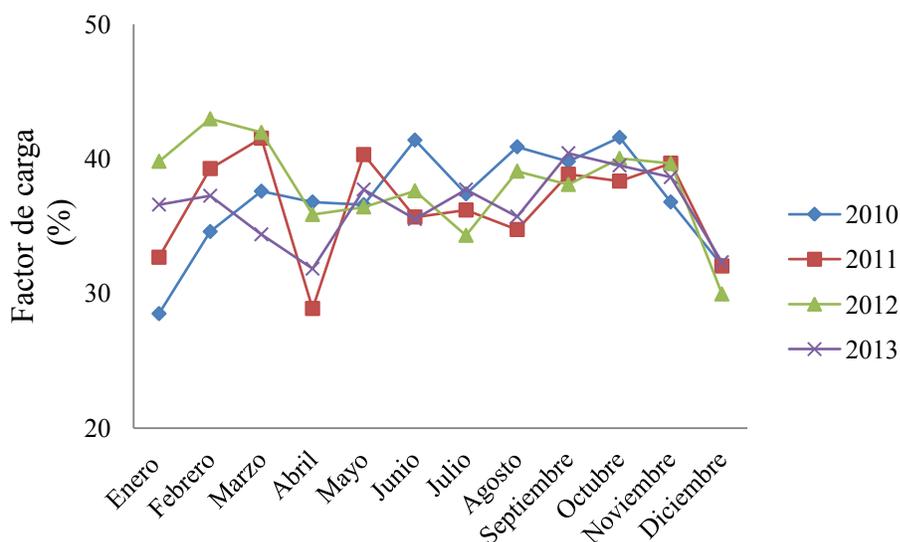
El Cuadro 6.8 muestra el resumen de los parámetros encontrados en las dos corridas; como era de esperarse el período de alta ocupación mantiene los parámetros de potencia y demanda más altos, en particular la potencia máxima puede llegar a aumentar hasta 45,78 % de un período a otro.

Así mismo se registró un aumento del consumo de energía de un período a otro, se pudo concretar un aumento en el consumo de energía de 55,89 % particularmente debido la utilización de más equipo y de las horas de trabajo dentro del inmueble.

### **6.5 Factor de carga**

En adición al historial de demanda y consumo analizado en secciones anteriores fue posible encontrar un historial del factor de carga.

El factor de carga es un indicador sobre la forma de uso de los equipos eléctricos y el comportamiento de la demanda comparada con su pico máximo. Es la relación entre la energía consumida y la energía que se consumiría si se trabaja la totalidad de las horas del día. Lo más recomendable es que el factor de carga esté lo más cercano a uno, ya que esto demuestra una utilización constante de carga. Un valor bajo señala un uso ineficiente de los equipos (Chavez, 2012).



**Figura 6.16.** Porcentaje de factor de carga registrado en los últimos 4 años para el medidor principal

La Figura 6.16 muestra que existe una variación en el factor de carga del edificio y este oscila entre un 30 % y 40 % a través del año, en promedio se tiene un valor de 36,48 % en este factor para el año 2013.

Los meses de enero y diciembre reportan valles, los valles en estos meses son principalmente consecuencia de los tiempos de vacaciones en los que el edificio está desocupado, lo cual causa que exista una disminución en las horas de trabajo y por ende un uso menor.

También es evidente un comportamiento alterno en los meses de abril y mayo, esto ya que este mes manifiesta el pico de demanda más alto debido a la utilización de los equipos de aire acondicionado como respuesta a factores climatológicos. Una disminución en la demanda máxima afecta el parámetro discutido, por lo que la recomendación brindada en la Sección 6.4 beneficiaría positivamente el factor de carga acá mencionado principalmente durante los meses de marzo, abril y mayo.

Se debe tener en cuenta que en el caso del inmueble auditado las horas de trabajo presentan una gran variabilidad a lo largo del tiempo por lo que no es posible realizar un control completo de la utilización de los equipos.

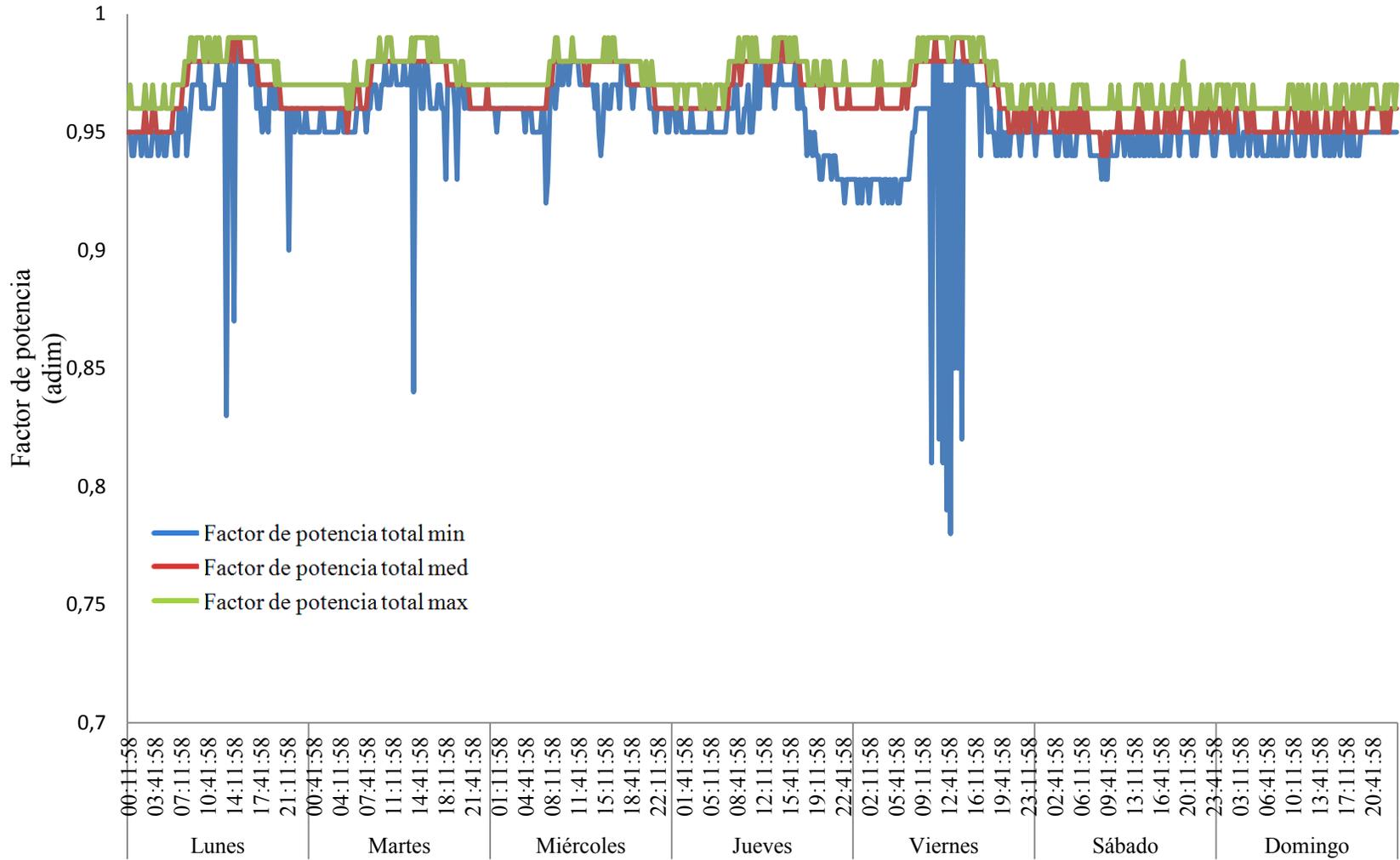
El factor de carga es un parámetro relativo que brinda indicaciones sobre el comportamiento de la demanda, se debe ser precavido al tener en cuenta este factor ya que un valor cercano a 100 % no significa un correcto uso de la energía, por ejemplo se puede tener todos los equipos encendidos al mismo tiempo durante todo el mes y llegar a un 100 % de factor de carga sin embargo esto resultaría un desperdicio energético ya que no es necesario.

## **6.6 Factor de potencia**

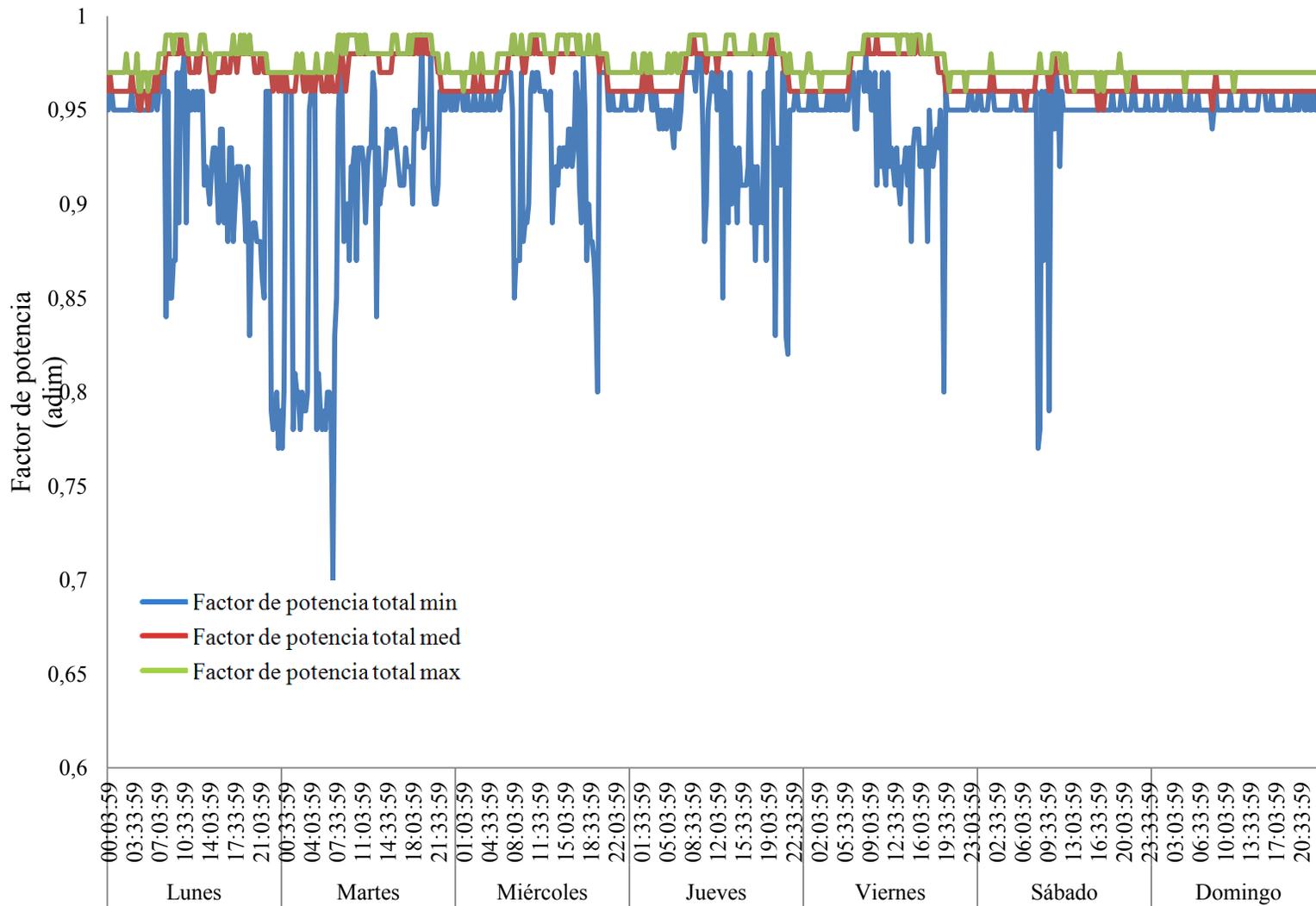
Un factor bajo de potencia limita la capacidad de los equipos con el riesgo de incurrir en:

- Elevado consumo de potencia reactiva.
- Mayores pérdidas de energía en la instalación eléctrica por efecto Joule.
- Menor aprovechamiento de la capacidad de los cables que forman el sistema eléctrico.
- Aumento de la potencia aparente PAP (kVA).
- Disminución de la potencia activa transmisible.
- Aumento de la intensidad de corrientes en las líneas.
- Caída de tensión en las líneas.
- Recargo o multa por bajo factor de potencia (Badilla & Soto, 2001).

Durante la investigación realizada se encontró que el edificio auditado presentó un registro de 1 en el factor de potencia durante todos los meses de los últimos 4 años. Este registro contradice a lo que se esperaría de un edificio con tantos fluorescentes y sistemas de acondicionamiento del aire, dado que los mismos son conocidos por su tendencia a crear bajos factores de potencia.



**Figura 6.17** Curva de factor de potencia semanal en período de baja ocupación.



**Figura 6.18** Curva de factor de potencia semanal en período de alta ocupación.

Las fluctuaciones en este parámetro pueden ser constantes sin embargo la mayor cantidad de demanda de potencia reactiva se realiza en los períodos de demanda máxima. La energía reactiva a compensar debe ser la que se encuentre en estos períodos. Aunque en períodos de menor demanda existan factores de potencia menores, esto no suele indicar un gasto mayor para la empresa consumidora o distribuidora.

Un factor de potencia en los períodos de demanda máxima es causante de multa debido a que en estos períodos va a existir un exceso en la demanda de energía reactiva, es por esta razón que los históricos o facturas de electricidad de los distribuidores de energía solo registran los factores de potencia en los períodos de demanda máxima mensual.

Para comprobar lo encontrado en los datos históricos se utiliza el analizador de energía para verificar la tendencia del factor de potencia. Se pueden observar los perfiles semanales de este parámetro en la Figura 6.17 y en la Figura 6.18.

Las Figura 6.17 y la Figura 6.18 permiten observar los valores mínimos del factor de potencia registrados, aunque la mayor parte del tiempo el edificio presenta un factor de potencia que oscila entre 0,93 y 0,98, se registran valores causantes de multa en las horas durante la tarde, justo cuando la carga térmica del edificio es mayor.

Estos factores de carga menores se deben a que a estas horas son los períodos de mayor utilización de las unidades de aire acondicionado del edificio. Estos equipos debido a los motores eléctricos de sus compresores pueden llegar a influir de manera significativa en este parámetro.

Las computadoras también llegan a afectar este parámetro, Krarti (2011), estima que estos equipos pueden llegar a mantener factores de potencia de hasta 0,50. Sin embargo, como se pudo constatar en los catálogos de la mayoría de computadoras que se encuentran en el edificio, estas cuentan con dispositivos correctivos internos que las limitan hasta un factor de potencia de 0,9. Aunque los factores de potencia individuales son buenos, en conjunto cuando varias de las computadoras trabajan al mismo tiempo se puede afectar de manera significativa el requerimiento global de energía reactiva.

Un factor de potencia bajo es motivo de multa por parte de la empresa distribuidora. Para establecer esta multa se utilizan los valores de factor de potencia mínima registrados por el medidor en el momento de demanda máxima. Se puede revisar la ecuación 4.3 para comprobar el enunciado anterior.

Para disminuir las caídas en el factor de potencia se recomienda la selección correcta de equipo, es decir seleccionar y conectar al sistema equipo que produzca la menor caída posible. De no poder sustituir esta clase de equipos se debe seleccionar un banco de capacitores capaces de compensar en fase opuesta la demanda de energía reactiva del edificio (Barboza, 2002).

Seguidamente en el Cuadro 6.10 se resumen los datos mínimos de factor de potencia durante las potencias máximas medidas para los dos períodos. Se utilizan las potencias máximas en lugar de la demanda para abordar los requerimientos mayores de potencia reactiva del edificio.

**Cuadro 6.10** Parámetros relacionados al factor de potencia en períodos de potencia máxima

<b>Parámetro</b>	<b>Baja ocupación</b>	<b>Alta ocupación</b>
PA (kW)	42,75	62,32
PR (kVAR)	24,22	33,63
FP	0,87	0,88
FP permitido	0,9	0,9
FP diseño	0,95	0,95
PR <sub>c</sub>	10,17	13,15

Aunque a nivel histórico se registra un factor de potencia de 100 % mensual, las mediciones registradas muestran que existe un factor de potencia más bajo al permitido en el edificio durante los períodos de potencia máxima. La diferencia en los resultados obtenidos con la medición de la compañía distribuidora puede significar un error en el medidor y se debe prestar atención sobre esto.

Bajos factores de potencia son motivo de multa por parte de la empresa distribuidora de energía. Para eliminar el problema relacionado a la multa por bajos factores de potencia es

recomendable instalar un banco de capacitores que compense en oposición de fase la cantidad de energía reactiva que ocasiona el bajo factor de potencia.

La capacidad de estos equipos depende del total de energía reactiva a compensar. Para tener un ámbito de seguridad y tomando en cuenta la adición de nuevo equipo en el edificio se utiliza un factor de potencia de 0,95 como valor de diseño para estimar la capacidad del banco de capacitores a instalar. Como se observa en el Cuadro 6.10 se necesitaría un valor máximo de 13,15 kVAR para compensar los requerimientos en los dos períodos registrados, por lo que un banco de capacitores de 15 kVAR es apropiado en este caso. El precio de estos bancos de capacitores puede llegar a alcanzar los ₡ 620 000 a la fecha (mayo, 2014).

Por otro lado si se midiera correctamente el factor de potencia el edificio estaría expuesto a las multas que se muestran en el Cuadro 6.11.

**Cuadro 6.11** Potenciales multas por bajo factor de potencia.

	<b>Potencial multa mensual (₡)</b>	<b>Numero de meses</b>	<b>Ahorro anual (₡)</b>
Meses de baja ocupación	11 181,00	4	44 724,00
Meses de alta ocupación	10 473,00	8	85 944,00
<b>Potencial ahorro anual</b>			<b>130 628,00</b>

Se realiza este pronóstico debido a que no existen datos históricos de multas por bajo factor de potencia para este medidor, es recomendable cuando se dimensionan estos sistemas realizarlos basados en datos históricos de la compañía distribuidora o con mayores meses de medición. Basados en las potenciales multas y en el precio de los capacitores mencionados anteriormente se puede decir que la inversión se recuperaría hasta dentro de 6 años.

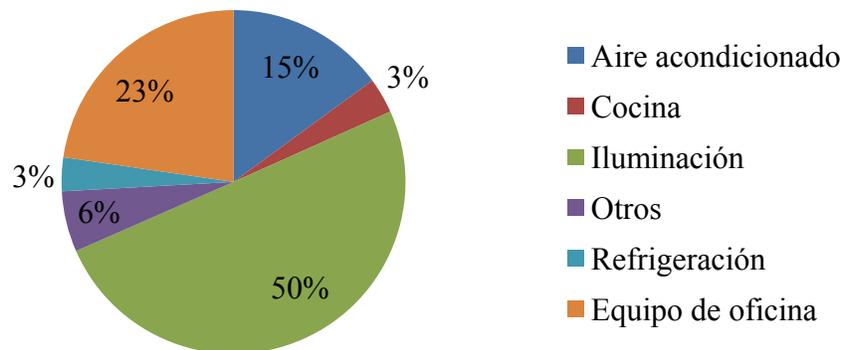
Puesto a que la inversión a realizar es considerable y que actualmente no se realiza la medición adecuada, ni la multa por parte de la empresa distribuidora, no se recomienda la

adquisición del equipo. Se pueden utilizar los datos del Cuadro 6.10 y del Cuadro 6.11 como referencia si el sistema de medición se ve modificado en un futuro.

### 6.7 Distribución y uso finales de la energía

Se realiza un balance de energía para determinar los sectores de mayor consumo del edificio. Así mismo se comparan los datos encontrados en el balance con los datos medidos por el analizador Fluke 435 para comprobar la eficiencia del mismo.

A partir del inventario de equipos y las entrevistas con los usuarios del edificio se procede a realizar un diagrama de distribución del consumo energético diario del edificio. Según el equipo encontrado se divide el consumo en 6 secciones; aire acondicionado, cocina, iluminación, otros, refrigeración y equipo de oficina, la distribución porcentual del consumo se muestra en la Figura 6.19



**Figura 6.19.** Diagrama de distribución de consumo diario del edificio.

El anterior diagrama de distribución se basa en un día lunes de un período de alta ocupación, el cual fue el que en las mediciones realizadas y mencionadas con anterioridad reporto el mayor consumo diario. El Cuadro 6.12 considera el porcentaje de error con respecto a las mediciones realizadas.

**Cuadro 6.12** Consumos energéticos medidos y estimados para el lunes 14 de abril del 2014

<b>Consumo energético medido (kW-h)</b>	<b>Consumo energético estimado en el inventario (kW-h)</b>	<b>Porcentaje de error (%)</b>
576,67	619,85	7,49

Para realizar los inventarios se tomaron en cuenta diferentes supuestos, en cuanto a las áreas, aulas y laboratorio de cómputo destinados a específicamente a dar clases se utilizaron los horarios que se imprimen y se indican en las puertas de estas aulas. Para las oficinas administrativas se supuso una ocupación de 8 horas mientras que para oficinas dedicadas a los profesores se supuso una ocupación de 4 horas. Otras áreas en específico se estimaron según el criterio del auditor.

En cuanto a las potencias de los equipos se utilizaron para luminarias las potencias suministradas de los arreglos en los catálogos del fabricante elegido, para equipos de oficina se determinaron valores promedios recomendados por ASHRAE y el Laboratorio Nacional de Energías Renovables de los Estados Unidos (NREL) en las referencias citadas con más detalle más adelante, para los demás equipos se utilizaron los valores de potencia suministrados en los datos de placa.

A partir de las suposiciones mencionadas anteriormente se pudo llegar a realizar un balance con un porcentaje de error aceptable y satisfactorio para el nivel de análisis al que se refiere este trabajo. El 7,49 % de error se debe principalmente a la variabilidad en la manipulación de los equipos, teniendo en cuenta que el inmueble auditado tiene horarios variables y no responde a un único horario de trabajo, así mismo los equipos no trabajan en una única potencia y existe una gran variabilidad en cuanto a las potencias requeridas según el trabajo que se esté realizando por equipo.

La mayor parte del consumo energético diario se realiza en 3 sectores; iluminación cómputo y equipo de aire acondicionado. La mayor inclinación hacia las cargas para el sistema de iluminación se debe a que estos equipos son los que poseen mayores horas de trabajo, así como a una mala práctica en la operación de los mismos como se verá más adelante.

Los equipos de oficina ocupan un 23 % del consumo diario, particularmente los laboratorios de computación que se encuentran dentro del inmueble son los que más influyen en este sector. Este tipo de área maneja normalmente más de 20 computadoras con sus monitores, y en adición un sistema de acondicionamiento del aire para mantener el estado de confort térmico de los ocupantes.

En el edificio se encuentran un total de 23 equipos de aire acondicionado, en su mayoría tipo Split, se encontraron capacidades de enfriamiento que van desde los 2,20 kW (7 500 Btu/h) a los 17,58 kW (60 000 Btu/h).

Muchos de estos equipos tienen muy poca utilización particularmente debido a las condiciones térmicas de confort dentro del edificio, la mayor utilización de los mismos se dan en los laboratorios de computación, donde debido a los desprendimientos de calor de los equipos de cómputo se necesitan capacidades mayores de enfriamiento.

Los equipos con capacidades de 14,06 kW (48 000 Btu/h) y 17,58 (60 000 Btu/h) son los que requieren mayor potencia en el edificio y por ende su utilización afecta particularmente la demanda en períodos donde el confort térmico se ve afectado.

Los sistemas de computación, los sistemas de aire acondicionado e iluminación serán analizados con mayor detalle más adelante.

Los sistemas de cocina como microondas ocupan porcentajes de consumo bastante bajos debido a que su utilización se limita a 1 o 2 horas diarias de uso, particularmente durante la hora de almuerzo al mediodía.

Los equipos de refrigeración tienen un impacto bajo, y a pesar de que funcionan 24 horas los equipos encontrados en esta auditoría son pequeños y sus valores de demanda de potencia son relativamente bajos.

Se encontraron también cargas en el sistema debido a motores de inducción pequeños particularmente con un potencial menor de 1HP. Las cargas de estos sistemas no se consideran significativas debido a que se utilizan para prácticas de estudiantes y no se les

da un uso continuo. La mayor parte de estos equipos se utiliza durante períodos máximos de 4 horas por lo que su consumo energético es mínimo.

## **6.8 Equipo de oficina**

Durante la auditoría como es de esperarse se encontraron gran cantidad de equipos de oficina particularmente computadoras desktop, monitores LCD son los que más abundan en el edificio. Otra serie de equipos como impresoras y fotocopiadoras son utilizadas en la parte docente y administrativa.

Los datos de placa raramente reflejan la potencia requerida del equipo de oficina. Se pueden lograr mucho mejores resultados utilizando valores predictivos basados en el tipo de equipo (ASHRAE, 2009).

Se encontraron un total de 252 computadoras desktop dentro del edificio. La mayor parte de las computadoras encontradas puede requerir una potencia de (200-365) W según sus datos de placa. Sin embargo realizar estimaciones de cargas basados en sus datos de placa involucraría un error, ya que estas toman en cuenta la utilización de todos los equipos que involucran la máquina incluyendo dispositivos de discos compactos, utilización máxima del procesador, dispositivos, USB, etc.

NREL (2011), para una auditoría energética recomienda valores de (75-85) W como cargas promedio para computadoras con procesadores de la misma marca a las encontradas en esta auditoría. Con base a esto se utilizó un valor promedio de 80 W para realizar las estimaciones detalladas en este trabajo. De esta manera con dicha consideración se estimó un consumo diario de 91,36 kW-h (National Renewable Energy Laboratory, 2011).

Se encontraron también 253 monitores LCD de diferentes marcas con un ámbito de potencia utilizable según la marca que va desde los (30–60) W. Se estimó de la misma manera que con las computadoras, basados en las recomendaciones de NREL una potencia de 17 W para monitores de 43,18 cm (17 in) y de 19 W para monitores de 63,50 cm (25 in).

Estos equipos representan un consumo diario de 22,27 kW-h (National Renewable Energy Laboratory, 2011).

Las impresoras y fotocopiadoras también son también parte de este sector. Las impresoras pueden llegar a estar encendidas muy poco tiempo ya que solo se utiliza cuando están imprimiendo, se utilizó un valor de 137 W como carga según ASHRAE y una hora como período de utilización, basados en las suposiciones anteriores se estimó un consumo diario de 3,84 kW-h en estos equipos (ASHRAE, 2009).

Se encontraron 4 fotocopiadoras con una potencia de placa de 1440 W, para la misma potencia nominal se recomienda usar un valor de 535 W cuando se está imprimiendo y de 135 W cuando esta ociosa. La mayor parte del tiempo estos equipos se encuentran en estado ocioso por lo que el consumo diario estimado fue 135 W y se utilizó un período de 24 horas como período de utilización. Se estimaron 12,96 kW-h como consumo diario de estos equipos (ASHRAE, 2009).

Otros equipos como proyectores, escáneres y faxes complementan este sector para un total de 140,83 kW-h diarias consumidos en equipos de oficina. La potencia de estos equipos se modeló a partir de los datos de placa.

Debido a la cantidad de equipo de oficina que mantiene el edificio, es importante realizar medidas correctivas para garantizar un adecuado uso de los mismos. Medidas como la desconexión de estos equipos en períodos de no utilización o la instalación de “software” de manejo de energía poseen gran potencial para disminuir el consumo.

## **6.9 Sistema de iluminación**

### **6.9.1 Equipo y eficiencia**

Durante la auditoría se encontraron diversos tipos de luminarias y lámparas en el edificio. Las lámparas encontradas consisten en su mayoría en lámparas fluorescentes tubulares T8 y T12. Solo se encontró una bombilla incandescente en una bodega y dos fluorescentes compactos como iluminación de escritorio.

Los tubos fluorescentes son dispuestos en diferentes arreglos, la combinación de la cantidad y tipos de tubos y balastos condicionan el rendimiento lumínico y por ende su gasto energético. En los primeros tres pisos del edificio se utiliza mayoritariamente tubos fluorescentes tanto T8 como T12 en un arreglo de 2 tubos (1X4) de 1,2 m de largo. Por otra parte en los pisos 4 y 5 se encontraron arreglos de 4 tubos (2x4) tubos de 0,6 m de T12 y arreglos de 3 y 4 tubos T8 de 1,2 m.

La cantidad de arreglos encontrados en el edificio así como sus correspondientes potencias se pueden observar en el Cuadro 6.13.

**Cuadro 6.13** Tipos de arreglos de luminaria fluorescentes encontrados en el inmueble

Tubos	Arreglos utilizados	Cantidad de tubos	Cantidad de arreglos	Demanda por arreglo (kW)
T12F20	Arreglo 4 tubos balastro electromagnético	54	14	112
T12F40	Arreglo 2 tubos balastro electromagnético	110	54	96
T12F40	Arreglo 4 tubos balastro electromagnético	4	1	192
T12F40/CW/SS	Arreglo 2 tubos balastro electromagnético	274	137	72
T12F40/CW/SS	Arreglo 4 tubos balastro electromagnético	84	21	144
T12F96/CW/SS	Arreglo 2 tubos balastro electromagnético	8	4	123
T8F17	Arreglo 4 tubos balastro electromagnético	16	4	61
T8F17	Arreglo 3 tubos balastro electromagnético	6	2	47
T8F17	Arreglo 2 tubos balastro electromagnético	6	3	34
T8F32	Arreglo 4 tubos balastro electromagnético	88	22	112
T8F32	Arreglo 3 tubos balastro electromagnético	252	84	85

*Fuentes:* (Havells Sylvania, 2013), (Sylvania, 2007) y (Alternative Energy Systems Consulting, Inc, 2014)

Los tubos T8 se colocan normalmente con balastos electrónicos, mientras que los T12 utilizan balastos electromagnéticos por lo que no solo representan una demanda mayor sino que debido a su método de funcionamiento pueden llegar a incidir de manera negativa dentro del factor de potencia del edificio.

La tecnología T12 es más ineficiente energéticamente, como se puede apreciar en el Cuadro 6.13 las potencias requeridas son mucho mayores, por lo que se recomienda realizar una sustitución de todas las luminarias T12 a T8 o a otra tecnología de mayor eficiencia. El

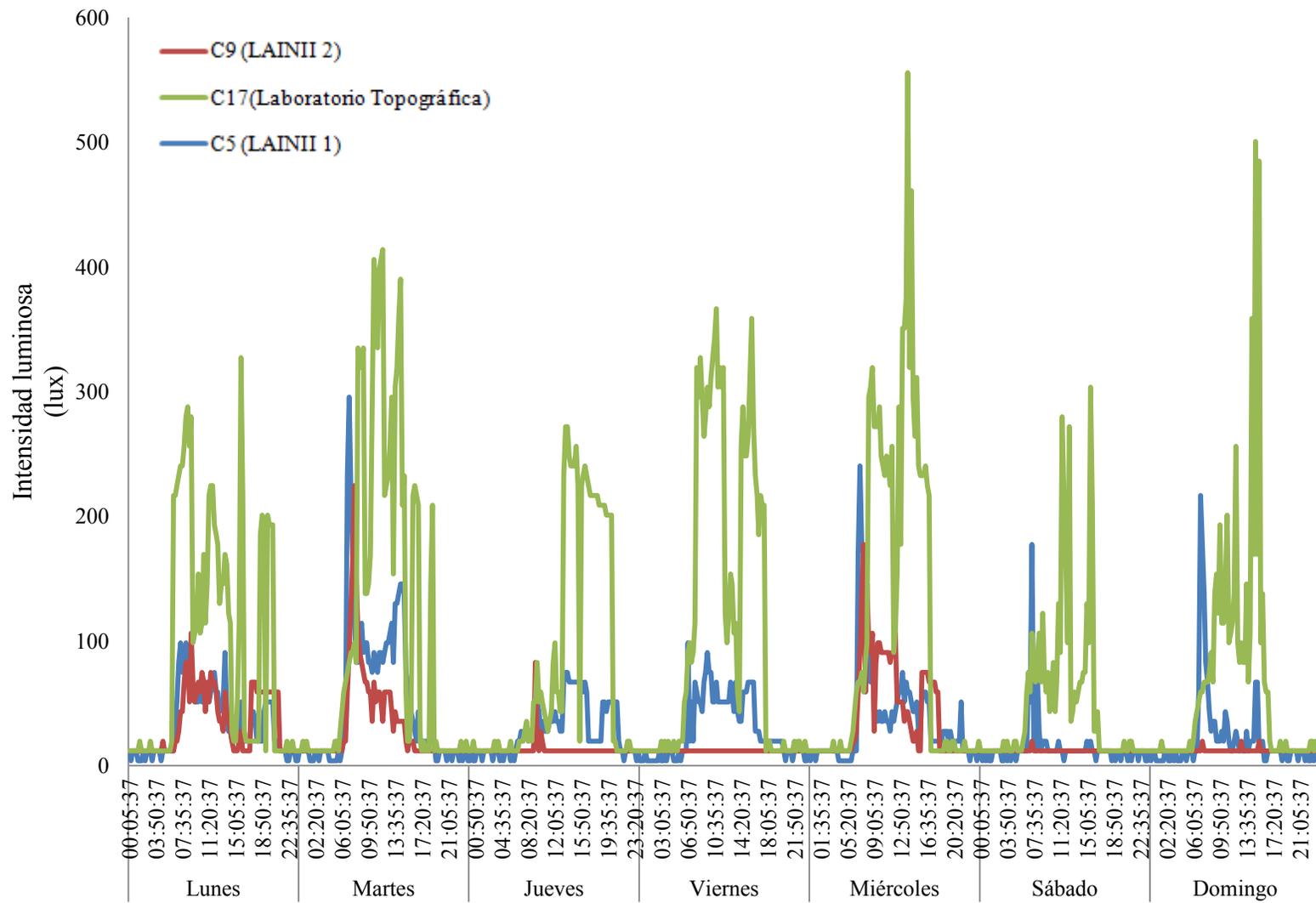


Figura 6.20 Curva de intensidad luminosa semanal.

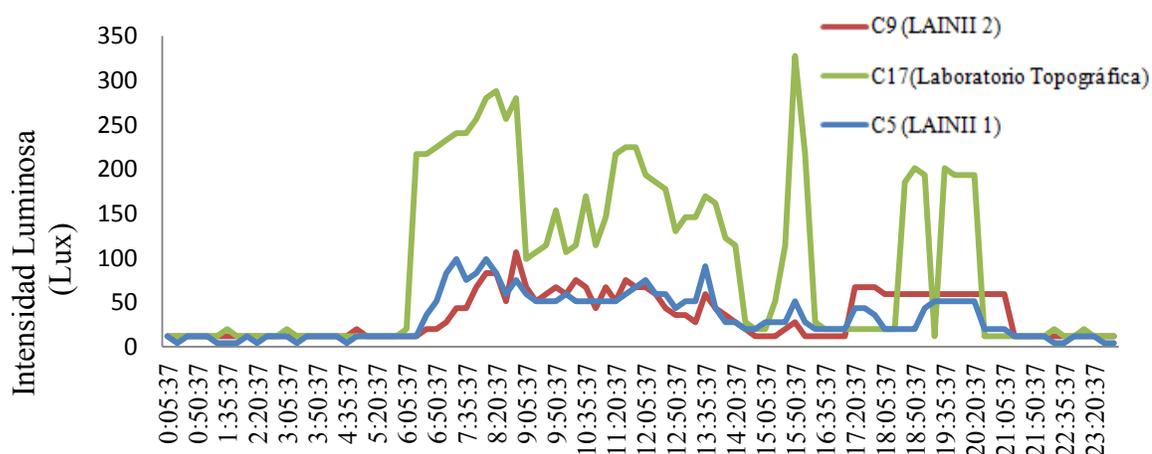
análisis de la rentabilidad y ahorro energético de los mismos se muestra en el siguiente capítulo.

### 6.9.2 Confort lumínico

Para poder determinar cuál es el comportamiento lumínico en el edificio se procedió por medio de los equipos Hobos a recolectar los datos de intensidad luminosa de las 3 áreas evaluadas de máxima demanda.

La utilización de las fuentes de luz artificial es visible en la Figura 7.20 cuando se manifiestan tendencias horizontales en las curvas de datos. Se puede realizar una comparación con los días en los que las áreas de estudio se encuentran sin ocupación, como lo son el día sábado y domingo, para verificar los posibles aportes de la luz artificial.

El comportamiento semanal se muestra en la Figura 6.20, se debe considerar que todos los días representan condiciones climatológicas diferentes y estas inciden en el confort visual de los ocupantes, sin embargo la luz artificial debe garantizar las condiciones mínimas necesarias para el desempeño de las actividades diarias. La Figura 6.21 muestra los datos de intensidad luminosa recolectados con los “data loggers” en un día representativo de la evaluación realizada.



**Figura 6.21** Curva de intensidad luminosa correspondiente al día lunes

Como es muestra en la Figura 6.21 existen variaciones significativas en las intensidades luminosas de cada habitación, estas variaciones dependen de la posición del sol y la demótica de cada área. El área observable con mayor intensidad luminosa es el área C17, Durante la mayor parte del día esta habitación registra niveles de luz de por lo menos 200 lux, la cual según la teoría encontrada representa un buen nivel de luminosidad para el uso final de esta área.

Es importante revisar cual es el aporte de luminosidad de los fluorescentes en el período nocturno donde se espera que la luz natural sea prácticamente nula. Para esto se puede observar la Figura 6.21 de las 18:00 a las 22:00, donde es posible verificar el aporte neto artificial. Es notable la diferencia de luminosidad entre todas las zonas mientras que la zona C17 posee una buena iluminación con alrededor de 200 lux las otras áreas llegan a un tope máximo de 50 lux por lo que se considera un confort insuficiente.

Hay que tomar en cuenta que se tuvo como limitación la posición de los equipos dado que se intento localizarlos de manera horizontal en posiciones en que no se pudieran mover ni robar, se tuvieron que acercar a las paredes. Estos acercamientos pueden significar algún grado de obstrucción en los sensores y disminuir los niveles de lux medidos

Seguidamente en el Cuadro 6.14 se resumen los niveles de luminosidad máxima alcanzados en períodos nocturnos, presentados en la Figura 6.21, además se realiza una comparación de los niveles alcanzados con los arreglos de los equipos encontrados.

**Cuadro 6.14** Niveles máximos de luminosidad artificial y LPDs para las áreas evaluadas

Localización	Intensidad luminosa máxima (lux)	Luminaria encontrada	Área (m <sup>2</sup> )	Potencia total de los arreglos de iluminación (kW)	LPD (W/m <sup>2</sup> )
C5 (LAINII 1)	51,20	Arreglo 2 tubos T12 F40	48,51	0,88	18,14
C9 (LAINII 2)	59,20	Arreglo 3 tubos T8F32	42,69	0,77	17,92
C17 (Laboratorio Topográfica)	216,8	Arreglo 3 tubos T8F32	44,27	0,68	15,36

El LDP (“Light Power Density” o Densidad de Potencia Luminosa) es el parámetro que mide la energía consumida por arreglos de instalaciones lumínicas con respecto a un área de piso iluminada. ASHRAE y IESNA utilizan este parámetro para recomendar niveles y el uso eficiente de la energía en los procesos de iluminación.

Los valores recomendados de este parámetro varían según el uso final del área iluminada, en el caso de las áreas evaluadas que califican como clases se recomienda un LDP de 15 W/m<sup>2</sup>. Se puede referir a la cita National Renewable Energy Laboratory (2011), para encontrar índices de LPD para otros tipos de áreas.

Como se puede observar en el Cuadro 6.14 todas las áreas sobrepasaron el parámetro recomendado, esto a pesar de que no se garantiza un confort lumínico mínimo, sin embargo es importante recalcar que los parámetros que más se acercan son los que poseen arreglos con tubos T8, tal como se esperaba al ser una tecnología más eficiente y generar mayor intensidad luminosa por unidad de potencia.

Como ya se mencionó es recomendable el remplazo de la tecnología T12 por la T8. Aunque se puede realizar una gran mejora en el consumo y en el LPD realizando este tipo de sustitución, las lámparas no son el único factor a tener en cuenta para una operación eficiente desde el punto de vista energético.

La integración de todos los componentes de la luminaria es esencial para lograr un confort lumínico adecuado con un menor consumo energético. A manera de ejemplo se puede comparar una luminaria con un automóvil, la lámpara es el motor del automóvil mientras que los equipos reflexivos y difusivos son la transmisión y dirección, se necesita que todas las partes se encuentren sincronizadas adecuadamente para lograr una conducción eficiente.

En el edificio existen luminarias anticuadas que no utilizan difusores y tampoco tienen en sus gabinetes sistemas reflexivos adecuados o están manchados por lo que no se da un buen aprovechamiento de la luz emitida por las lámparas. A pesar de lo anterior son el tipo de luminaria más utilizado en el edificio, se encontraron en pasillos, áreas de estar y aulas. Se puede observar esta clase de luminaria en la Figura 6.22.



**Figura 6.22** Luminaria encontrada en el edificio

Realizar una sustitución de luminarias por luminarias más eficientes conlleva una mejora en el confort lumínico, sin embargo si se realiza y se mantiene el mismo número de lámparas se seguirá teniendo el mismo consumo energético y por ende no habrá un ahorro económico que justifique el gasto involucrado. Es conveniente entonces realizar un nuevo diseño en el sistema de iluminación de manera que aprovechando las mejoras en cuanto a la difusión y reflexión de la luz de los nuevos equipos se reduzca el número de luminarias y por ende el número de lámparas necesarias para brindar un confort lumínico adecuado.

Es necesario realizar el nuevo diseño mediante las simulaciones y modelado adecuado. Así mismo es necesario un estudio de factibilidad que tome en cuenta los gastos no solo de las nuevas si no también posibles modificaciones a la parte arquitectónica del edificio como lo son la instalación de cielorrasos o techos falsos que den soporte físico a las nuevas luminarias.

## **6.10 Equipos de aire acondicionado**

### **6.10.1 Confort térmico**

La función principal de estos equipos es la de mantener un perfil de confort térmico adecuado para los ocupantes del edificio. Para ello los equipos de aire acondicionado

retiran el calor sensible y latente que se acumula en las habitaciones. La energía acumulada viene de diferentes fuentes se puede transferir por conducción que se da través del techo, paredes y ventanas, por radiación a través de las ventanas y de generación interna generado por el equipo y ocupantes de las áreas.

El principal propósito de los sistemas HVAC es el de proveer las condiciones necesarias para el confort térmico humano. El confort térmico se puede definir como la condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico. Esta definición enfatiza que la valoración del confort es un proceso cognitivo que es influenciado por procesos físicos, fisiológicos, psicológicos y otros (ASHRAE, 2009).

El confort térmico es afectado por la temperatura del aire, la humedad y la temperatura radiante, así mismo puede verse afectada por otros factores no ambientales como la ropa, la edad y la actividad física (ASHRAE, 2009).

El Cuadro 6.15 resume las condiciones ambientales de confort recomendadas por ASHRAE como condiciones de diseño para los sistemas HVAC en oficinas y clases.

**Cuadro 6.15** Condiciones de confort recomendadas por ASHRAE para el diseño de sistemas de climatización

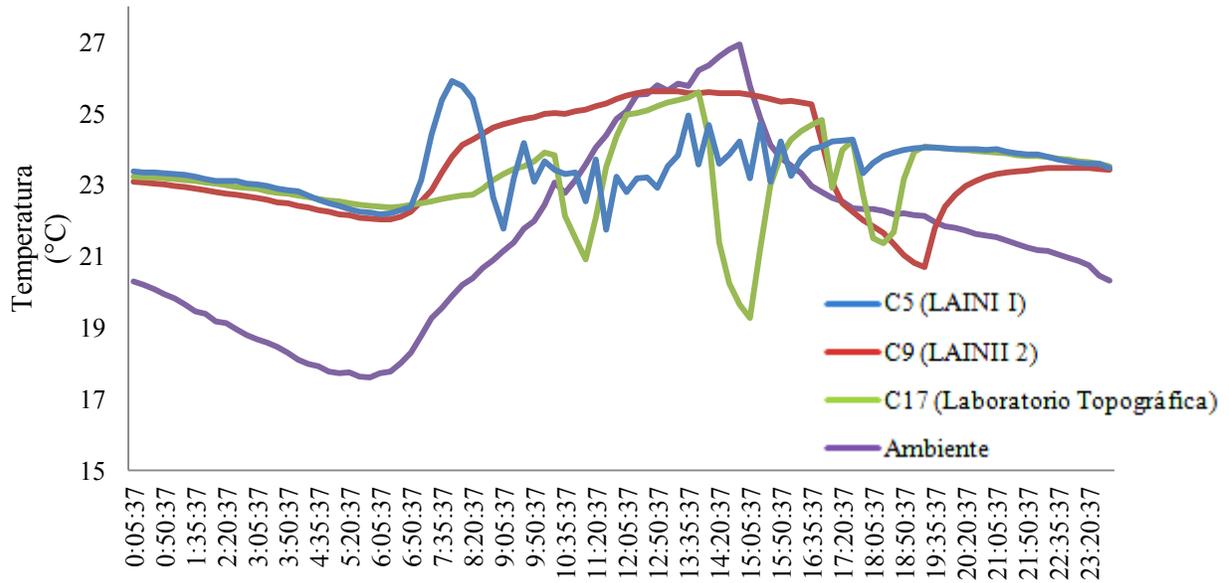
Humedad Relativa	Temperatura (°C)	
	Invierno	Verano
30%	20,3 a 24,2	23,3 a 26,7
40%	20,0 a 23,9	23,1 a 26,7
50%	20,3 a 23,6	22,8 a 26,1
60%	19,7 a 23,3	22,8 a 25,8

*Fuente:* (ASHRAE, 2009)

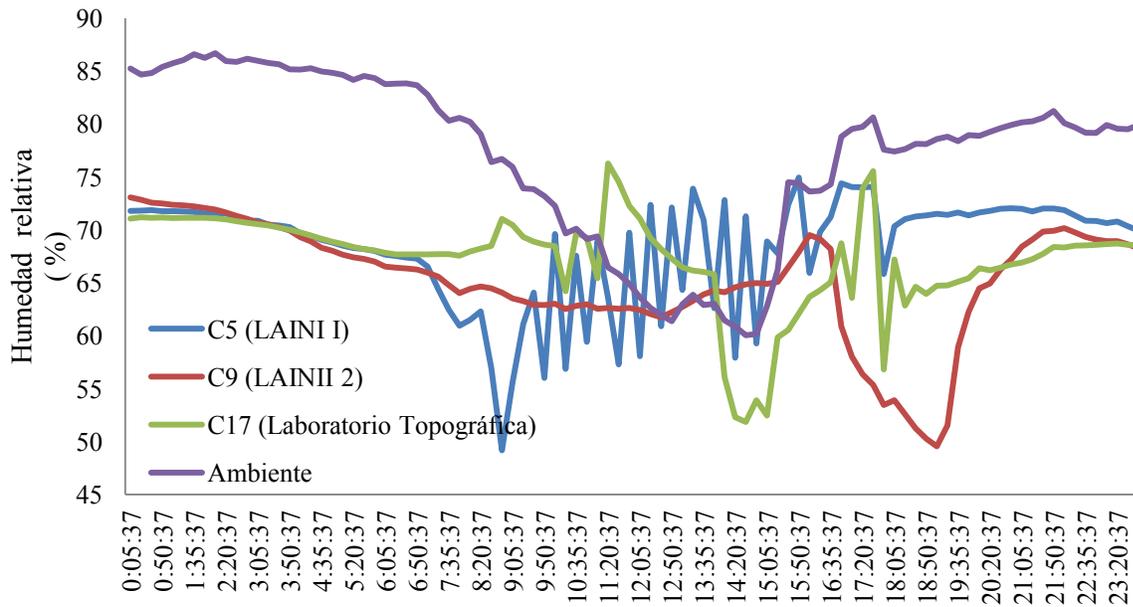
Como se puede observar en general existe un amplio ámbito de criterios que se consideran de confort, en general para este trabajo se consideran que las temperaturas de confort van de (20-26) °C y la humedad relativa de (30-60) %.

Para evaluar la manipulación de los equipos de aire acondicionado en comparación con los parámetros recomendados se midieron la temperatura y humedad de las zonas con las

unidades de aire acondicionado de mayor capacidad en el edificio. Los datos obtenidos se muestran a en la Figura 6.23 y en la Figura 6.24.



**Figura 6.23** Curva de temperatura diaria correspondiente al día martes



**Figura 6.24** Curva de humedad relativa diaria correspondiente al día martes

Las Figuras 6.23 y 6.24 dejan en evidencia el comportamiento diario de la temperatura y humedad en las diferentes áreas de estudio. Es posible observar que durante la mayor parte del tiempo de trabajo la temperatura en las áreas evaluadas ronda entre (23-24) °C, independientemente de la temperatura ambiente. La Figura 6.25 y la Figura 6.26 muestran los comportamientos semanales de la temperatura y humedad relativa.

Estas temperaturas entran dentro de los ámbitos de confort mencionados en párrafos anteriores, por lo no se requiere una manipulación a gran escala de los equipos de acondicionamiento del aire. En el Cuadro 6.16 se muestran los datos máximos mínimos y promedios de temperatura y humedad registrados durante los períodos laborales del edificio, es decir de 7:00-22:00 de lunes a viernes.

**Cuadro 6.16** Valores medios, máximos y mínimos encontrados de temperatura y humedad para las áreas de estudio

<b>Parámetro</b>	<b>Datos</b>	<b>Ambiente</b>	<b>C5 (LAINII 1)</b>	<b>C9 (LAINII 2)</b>	<b>C17 (Laboratorio Topográfica)</b>
Temperatura (°C)	Med	21,45	23,46	23,31	23,56
	Max	26,94	25,91	25,62	26,16
	Min	18,77	20,56	19,70	19,27
Humedad Relativa (%)	Med	78,21	67,98	67,80	69,03
	Max	90,19	78,21	75,71	79,96
	Min	60,05	49,17	49,56	51,87

En cuanto a las humedades relativas se encontraron valores por encima de los valores de humedad recomendados. Aunque estos valores influyen en la sensación corporal de los ocupantes los valores encontrados se asemejan a los recomendados por ASHRAE.

A temperaturas efectivas debajo de los 25°C el efecto de la humedad relativa sobre el confort térmico es mínimo pero para arriba de la misma temperatura este parámetro cobra importancia a medida que la pérdida de calor latente se convierte en el principal mecanismo para eliminar calor metabólico. Si a esas temperaturas el aire se siente húmedo el ambiente se percibe como no confortable (ASHRAE, 2009).

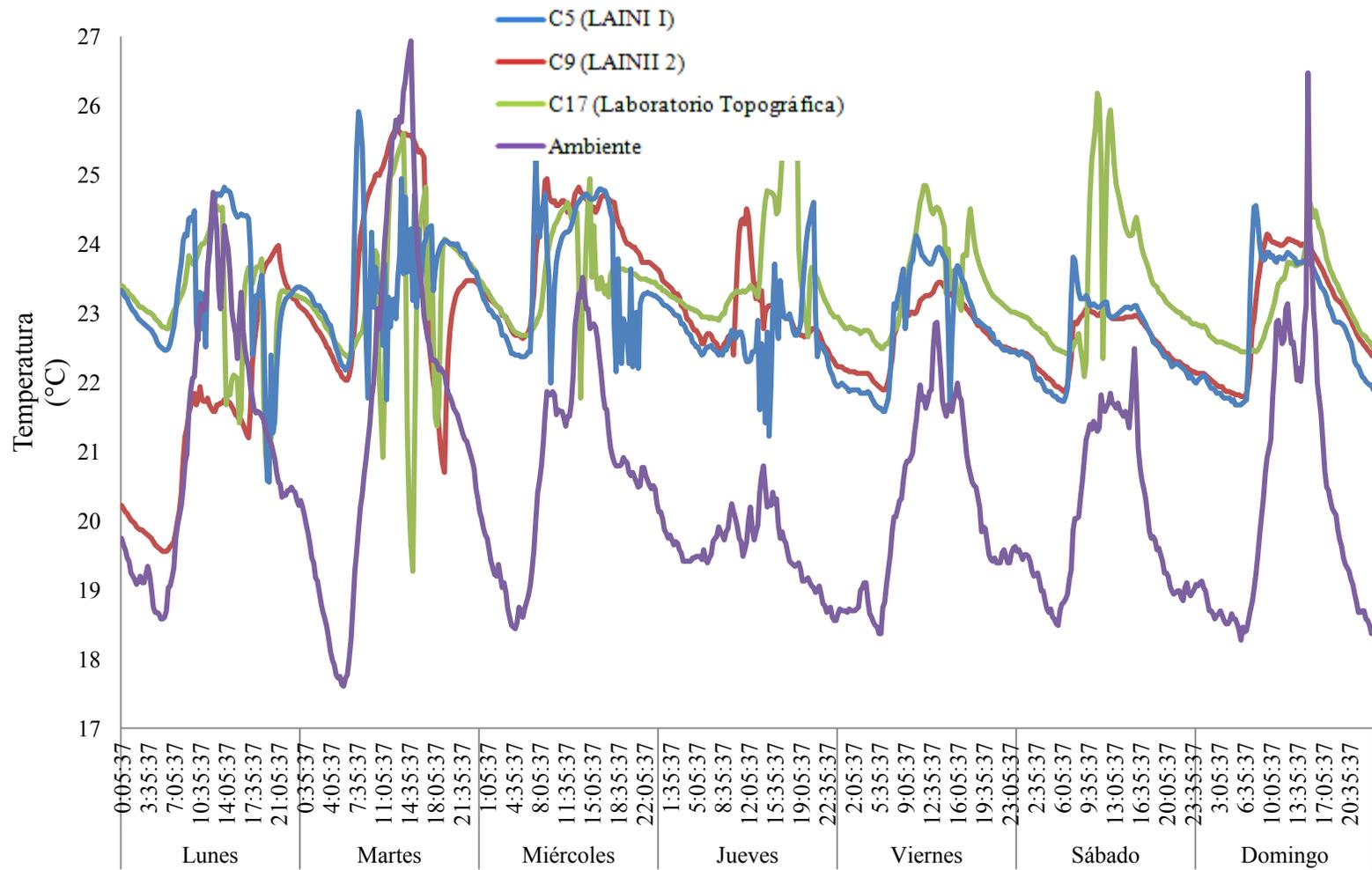


Figura 6.25 Curva de temperatura semanal

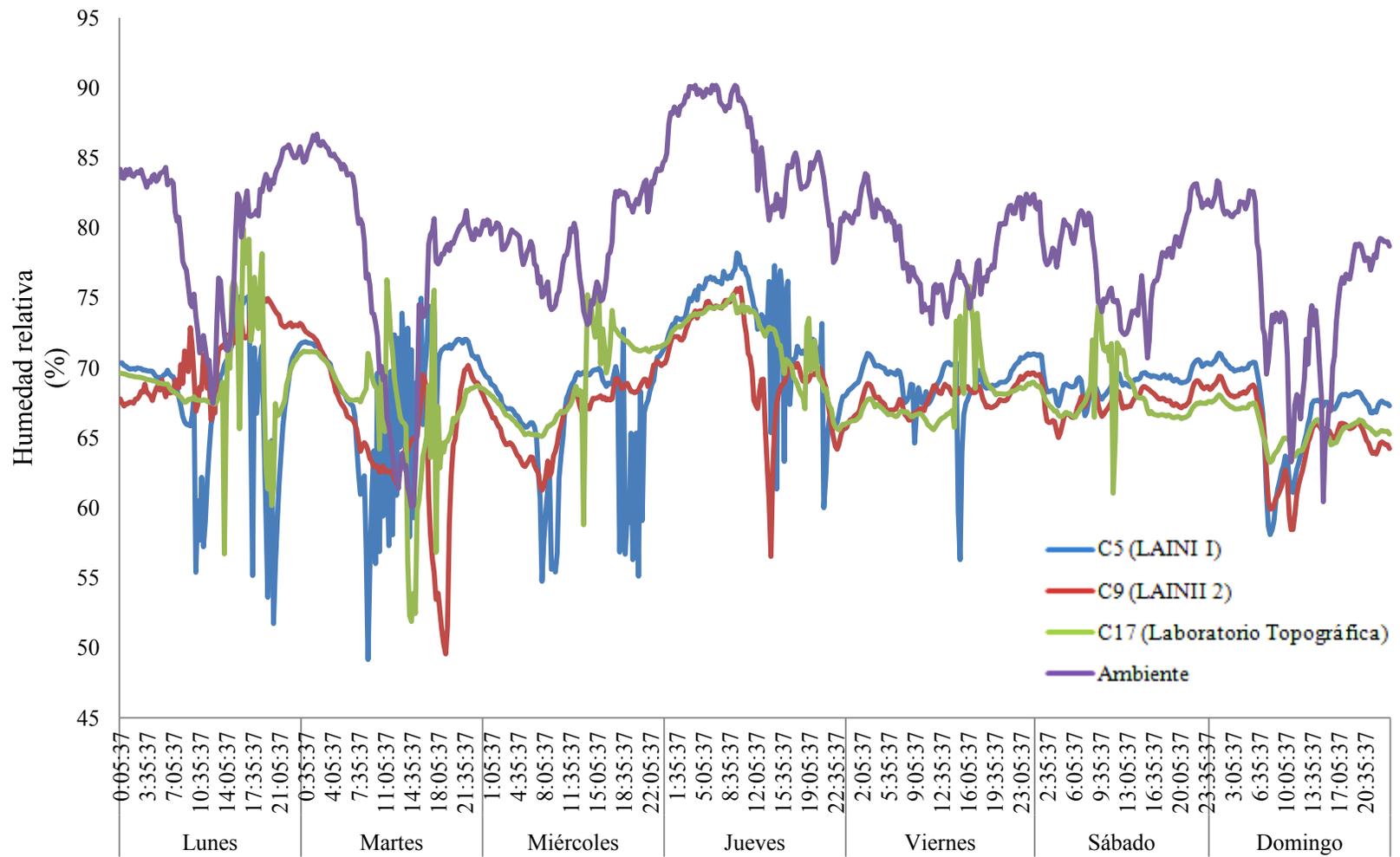


Figura 6.26 Curva de humedad relativa semanal

Debido a que las temperaturas en el edificio se mantienen la mayor parte del tiempo por debajo de los 25°C y a que no existen requerimientos específicos en la humedad del aire, desde el punto de vista energético no es conveniente la introducción de otros sistemas de deshumidificación para complementar los sistemas de acondicionamiento del aire que se utilizan actualmente. Como se puede ver en la Figura 6.27 los equipos actuales son capaces de reducir la humedad relativa hasta valores aceptables con el enfriamiento realizado, se puede evidenciar este comportamiento en los valles mostrados en la Figura 6.24 a partir de las 14:00 horas.

Es importante recalcar que las curvas de temperatura mostradas manifiestan sus puntos máximos en horas de la tarde, momentos en los cuales se evidencia la acción de los equipos de aire acondicionado. Debido a que la utilización de estos equipos se realiza durante pocas horas del día el impacto sobre el consumo mensual no es significativo, sin embargo la demanda máxima del edificio si se ve afectada por las mismas.

Como ya se mencionó en la Sección 6.4 es recomendable que las clases que se realizan en estas áreas sean programadas de manera que no choquen sus horarios, además de promover las clases en horarios donde la carga térmica sea menor.

### **6.10.2 Equipo y eficiencia**

Dentro de las visitas de la auditoría se encontraron 23 equipos de aire acondicionado, en su mayoría son del tipo residencial por lo que poseen una capacidad de enfriamiento de 3,52kW (12000 Btu/h) con un ámbito de carga de (1,9-2,1) kW, la utilización de estos equipos representa un cargo energético estimado diario de 92,71 kW-h.

Cabe resaltar que la utilización de estos equipos influye no solo en el consumo sino también en los cargos por demanda del edificio. En particular los compresores de los sistemas de acondicionamiento del aire necesitan una gran cantidad de energía para realizar su trabajo por lo que son los equipos que más potencia necesitan en el edificio. Cuanto mayor sea la capacidad de enfriamiento del equipo de aire acondicionado mayor será su

potencia requerida para trabajar. En el Cuadro 6.17 se muestran los equipos de aire acondicionado con mayores capacidades dentro del edificio.

**Cuadro 6.17** Parámetros de los equipos de aire acondicionado de mayor tamaño del inmueble

Capacidad (kW)	Localización	Potencia nominal (kW)	EER (Btu/h/W)	Horas de uso diario	Consumo promedio diario (kW-h)	Costo diario (€)	Costo anual (€)
14,07 (48000 btu)	C5	4,84	10	3	14,52	682,44	170 610,00
17,68 (60 000 btu)	C17	5,88	10	3	17,64	828,94	207 234,75
17,68 (60 000 Btu)	C9	4,88	12	3	14,64	688,08	172 020,00

Así mismo los sistemas de aire acondicionado involucrados dentro de la auditoría poseen índices de EER que van desde los 10 a los 12, lo cual se considera como equipos de eficiencia energética estándar. Actualmente en diferentes regiones existen regulaciones en cuanto a la eficiencia energética mínima, en los Estados Unidos se considera un EER mínimo de 10 para la fabricación e instalación de equipos mayores a 19,05kW (65 000 Btu/h) Existe una regulación más flexible en cuanto a equipos de menor tamaño como los encontrados en esta auditoría (Cornell University Law School, 2014).

El dimensionamiento adecuado de los equipos conlleva la disminución en los costos por equipo, facturas, mayor deshumidificación y mejores condiciones de confort. La selección precisa del tamaño de estos equipos se realiza en base a las cargas térmicas de cada área (The Chartered Institution of Building Services Engineers , 2007).

La estimación de las cargas de enfriamiento y calefacción deben de ser calculados en concordancia con los estándares y manuales aceptados. Un sobredimensionamiento de los equipos significa una reducción en la capacidad de administrar cargas parciales, lo que causa ciclos cortos en los compresores y desperdicio de energía (The Chartered Institution of Building Services Engineers , 2007).

Dentro de la auditoría se pudo comprobar que el dimensionamiento de estos sistemas está a cargo de la sección de Mantenimiento de Refrigeración y Aire Acondicionado, se verificó el proceso de dimensionamiento y el cálculo de las capacidades de refrigeración, el cual se basa en un procedimiento de cálculo de la empresa Westington House, y se puede referir en la cita Carnicer (1995).

Aunque los procesos de dimensionamiento anterior toman en cuenta las cargas interiores generadas tanto por equipo y ocupantes, así como por conducción y radiación de los exteriores; este cálculo no se hace de manera precisa, así mismo no toman en cuenta las condiciones climáticas de la zona por lo que no se considera que se realice un dimensionamiento adecuado. Un dimensionamiento preciso de las cargas térmicas se debe realizar modelando las cargas por hora del edificio, y debe de tener en cuenta la orientación de las ventanas, los materiales de construcción, la cantidad de ocupantes, el equipo y otros factores climatológicos. Así mismo no es recomendable realizarlo basado en un solo momento como se está realizando actualmente, sino mas bien se debe tomar en cuenta la acumulación de energía tanto en el aire como en paredes y ventanas.

Como se discutió en el Capítulo 5 el nivel de análisis requerido implica una recolección de datos mucho mayor, además de la utilización “software” especializado que facilite el modelado de las cargas de enfriamiento, por lo que el dimensionamiento de las cargas térmicas de las mismas queda fuera del alcance de este trabajo.

Debido a las pocas horas de uso de los sistemas de acondicionamiento de aire y los bajos precios de la electricidad no es recomendable desde un punto de vista económico realizar una inversión en la sustitución de los mismos, ya sea se realice buscando un mejoramiento por eficiencia o un mejor dimensionamiento de los mismos.

A manera de ejemplo si se llegara a obtener una mejora de tal forma que el equipo de aire acondicionado disminuyera su utilización de energía en un 100 % es decir se eliminara el costo operativo anual y tomando en cuenta un precio del equipo mínimo de ₡ 3 000 000, sin tomar en cuenta otros costos, el período de retorno sería de hasta 17 años, por lo que no

es conveniente realizar esta sustitución, teniendo en cuenta que el período de vida de estos equipos es de alrededor de 10 años.

Sin embargo a pesar de que la sustitución inmediata de estos equipos no es financieramente viable, se recomienda esperar a que estos cumplan su vida útil y realizar un dimensionamiento adecuado de las cargas de enfriamiento conforme a las normas ASHRAE, con el fin de adquirir el equipo más acorde y con los índices de eficiencia más elevados posibles.

Aunque no se puede mejorar de manera directa la eficiencia energética a través de la sustitución de equipo, se pueden realizar algunas correcciones en la operación de los mismos para disminuir las horas de uso y por ende el consumo energético. Se pudo identificar que las áreas donde se encuentran los equipos de aire acondicionado de mayor tamaño cuentan con una gran superficie de ventanas sin ninguna protección por lo que la radiación solar llega a impactar de manera significativa en el confort térmico del usuario, particularmente en los meses de marzo abril y mayo como se discutió en la Sección 6.4.

Las ganancias de calor solar a través de ventanas pueden jugar un rol significativo en el balance de energía. Los ventanales transmiten, reflejan o absorben determinadas longitudes de onda de la radiación solar dependiendo de las características del vidrio. La radiación solar absorbida es remitida hacia el interior o exterior de la ventana dependiendo de las configuraciones de las mismas. El vidrio trasmite casi todo el espectro solar de manera uniforme. Vidrios con polarizado o con propiedades absorbentes de calor absorben la radiación solar y le dan determinado color al vidrio (ASHRAE, 2009).

El rendimiento de dispositivos de sombreado a la hora de reducir cargas de enfriamiento y el uso de energía debe ser tomado en cuenta en la efectividad de la operación energética. Dispositivos de acondicionamiento pasivo del tipo arquitectónico o polarizado se consideran 100 % efectivos en el mejoramiento del desempeño energético (ASHRAE, 2009).

La instalación de filmes de polarizado en las ventanas de estas áreas es conveniente para llegar a disminuir las horas de uso de estos equipos. La instalación de tintes oscuros en las ventanas puede llegar a disminuir hasta en un 49 % la ganancia de calor solar con respecto a un vidrio cristalizado (Mora, 1999).

Antes de implementar la utilización del polarizado se debe tener en cuenta las condiciones lumínicas del espacio dado que estas se pueden ver afectadas por la disminución de la luz natural que entra por las ventanas. Así para compensar las pérdidas de luz natural se debería instalar equipo lumínico extra lo que genera mayor consumo energético.

En el caso de este trabajo como se comprobó en la Sección 6.9 solo una de las áreas evaluadas cumple con los estándares de confort lumínico recomendado durante las noches, por lo que no habría problema en la implementación de estos tintes en esta área. Para las otras dos áreas evaluadas en vista que los tiempos de utilización son mayores en el equipo lumínico se debe realizar primero una modificación en el diseño de las luces y una vez garantizado los estándares de confort y eficiencia discutidos anteriormente, proceder a realizar la instalación del polarizado. En el Capítulo 7 se realiza una valoración de esta opción de conservación de energía

## **CAPÍTULO 7**

### **OPORTUNIDADES DE CONSERVACIÓN DE ENERGÍA**

En el presente capítulo se consideran las opciones de conservación de energía más importantes y con potencial de aprovechamiento para el edificio. Las opciones de mejora acá presentadas se clasificarán de acuerdo a los niveles de análisis mencionados en la Sección 2.4.2 y en la Sección 2.4.3

#### **7.1 Recomendaciones generales (RG) para la optimización del comportamiento energético del inmueble**

- **RG#1. Realizar un levantamiento del plano eléctrico y el diagrama unifilar del edificio.** La implementación de esta medida facilita el sistema de control y mantenimiento de los sistemas eléctricos. Actualmente no se cuenta con estos planos y no se tiene un control detallado de las conexiones de los equipos eléctricos. Esta medida facilitaría un análisis más riguroso y un mayor seguimiento de las medidas propuestas en este trabajo-
- **RG#2. Realizar una programación de mantenimiento a todos los equipos de aire acondicionado del edificio.** Se logró verificar que no existe un programa adecuado de mantenimiento a los equipos, específicamente a las unidades compresoras. El buen estado de estos equipos significa un esfuerzo menor en los motores y por ende una disminución en la demanda máxima del edificio. La principal dificultad es la ubicación a gran altura de estos equipos, por lo que se debe garantizar la seguridad de los operarios para realizar un programa continuo de mantenimiento.
- **RG#3. Configurar el “software” de uso de energía de cada CPU.** Se debe configurar el “software” de uso de energía de cada CPU para un apagado de monitor cada 15 minutos, un cambio a modo de espera cada 30 minutos, y un cambio a modo hibernación cada 45 minutos. De esta manera se pueden ahorrar horas de uso de cada computadora en el edificio.

## 7.2 Oportunidades de conservación de energía de nivel I (OCE-I)

### 7.2.1 OCE-I #1: Eliminar utilización de luces de pasillos en períodos de no ocupación del edificio

**Discusión:** Según los datos y entrevistas recolectadas se utilizan los sistemas de iluminación de pasillos del edificio de manera continua durante las 24 horas del día los siete días de la semana. Los encargados del manejo de estos equipos justifican el gasto como un método para el control de plagas. Todas las luces encendidas de los pasillos llegan a requerir una potencia de 6,73 kW y se mantienen encendidas durante gran cantidad de horas en períodos de no ocupación en las noches y fines de semana. Existe una gran cantidad de energía desperdiciada por esta mala práctica, como se ve en el Cuadro 7.1 se puede obtener un alto Ahorro Energético Anual (AEA) simplemente apagando estas luces. En el Cuadro 7.1 y en los siguientes cuadros de este capítulo se muestra el valor del AEA en kW-h y el porcentaje de ahorro que este valor equivale con respecto al último consumo energético anual registrado, es decir el consumo energético para el año 2013.

**Cuadro 7.1** Potencial ahorro por implementación de OCE-I #1

Período	Días	Horas	Potencia (kW)	AEA (kW-h)	AEA (%)	Ahorro anual (€)	Inversión (€)
Fines de semana	104	24	6,73	16 798,08	11,26	789 509,76	0,00
Nocturno	261	9	6,73	15 808,77	10,60	743 012,19	0,00
<b>Total</b>				<b>32606,85</b>	<b>21,87</b>	<b>1 532 521,95</b>	<b>0,00</b>

Mediante la implementación de esta medida se puede obtener un ahorro energético de hasta 21,87 % anualmente. El ahorro generado solo por el apagado de estos sistemas durante la noche y los períodos de no utilización de los fines de semana se consideran significativos para pagar a una empresa de exterminación por la solución de estos problemas.

**Implementación:** La implementación de esta medida es meramente operativa solo con la directriz de la sección administrativa se puede lograr un gran ahorro sin ninguna inversión

**Recomendación:** Esta medida debe ser adoptada de forma inmediata pues no es necesaria una inversión, y representa un ahorro energético de 2 643,12 kW-h mensuales.

### 7.2.2 OCE-I #2: Reducción de las cargas parasíticas del edificio

**Discusión:** Según la evidencia mostrada en la Sección 6.4 existen cargas en períodos durante los cuales el edificio no está ocupado y no que tienen ninguna funcionalidad. Durante estos períodos funcionan equipos como refrigeradores, que por su naturaleza no deben de desconectarse para no perder su funcionalidad, adicionalmente los sistemas de informática localizados en los IDFs y F1-50 no se deben de desconectar para evitar una posible pérdida de información. La energía restante a la utilizada en las dos funciones anteriores se puede considerar como cargas parasíticas ya que se deben a computadoras y equipos de oficina en estado de suspensión o apagados que no tienen ninguna operación útil en estos períodos.

Como se discutió en la Sección 6.4 existe una demanda de 1,60 kW-h en períodos de no ocupación que no tiene ninguna clase de utilidad. Si se calcula que esta demanda se puede reducir totalmente durante los períodos nocturnos y fines de semana se puede lograr un ahorro considerable de energía y dinero como se ve en el siguiente cuadro.

**Cuadro 7.2** Potencial ahorro por implementación de OCE-I #2

Período	Días	Horas	Potencia (kW)	AEA (kW-h)	AEA (%)	Ahorro anual (€)	Inversión (€)
Fines de semana	104	24	1,60	3 993,6	2,68	187 699,20	0,00
Nocturno	261	9	1,60	3 758,4	2,52	176 644,80	0,00
<b>Total</b>				7 752,00	5,20	364 344,00	0,00

La desconexión de los equipos de cómputo en períodos de no utilización puede representar un ahorro de hasta un 5,20 % en el consumo energético anual del edificio.

**Implementación:** Desconectar todos los aparatos eléctricos al desocupar las habitaciones.

**Recomendación:** Se debe realizar una campaña de formación enfocada en la eficiencia energética. La capacitación y directrices de la administración hacia los encargados de los sistemas de cómputo y oficinas es vital para alcanzar el potencial de ahorro energético estimado.

### **7.3 Oportunidades de conservación de energía de nivel II (OCE-II)**

Las oportunidades de conservación de energía de nivel II son aquellas que se pueden establecer de manera práctica pero necesitan una inversión económica. La metodología para explicar cómo se evaluaron financieramente estas oportunidades se puede encontrar en la Sección 5.3

#### **7.3.1 OCE-II #1: Sustitución de lámparas T12 con balastro electromagnético a sistemas de luminarias más eficientes**

**Discusión:** Se encontraron un total de 534 lámparas fluorescentes T12, repartidas en diferentes configuraciones de luminarias en el edificio.

Realizar la sustitución de este tipo de lámparas por tecnología más eficiente representa una medida energética con gran potencial, particularmente debido a que gran parte de la energía eléctrica del edificio se transforma en energía lumínica.

Los tubos T8 con balastro electrónico son los más recomendados en la literatura para la sustitución de tubos T12, principalmente debido a que tienen un mejor rendimiento lumínico y un precio accesible en el mercado. Se considero también la instalación de tubos LED cuya potencia es menor, son fáciles de instalar y no requieren balastro, además de ser más amigables con el ambiente

**Implementación:** Según las luminarias encontradas se sugiere realizar la reconversión de las lámparas. Únicamente la sustitución de estos tubos y balastos sin modificar la luminaria donde se ubican puede representar un ahorro considerable.

Se adoptaron las siguientes medidas:

- Reconversión de luminarias con arreglos de 4 fluorescentes T12F20 con balastro electromagnético a 2 tubos T8F17 con balastro electrónico. Se pasa de una demanda de 112 kW a una de 34 kW por arreglo, si se utilizan los análogos de tubos T8LED de 0,6 m se pasa a una potencia de 18 W (9 W por cada tubo). Se realiza la sustitución de 4 tubos T12F20 a 2 Tubos T8F17 en vista de que los últimos propician mayor intensidad luminosa, sin embargo como ya se mencionó anteriormente antes de realizar una eliminación de las cantidades de lámparas en una luminaria es recomendable evaluar las necesidades de cada área.
- Reconversión de luminarias con arreglos de 2 fluorescentes T12F40 con balastro electromagnético a 2 tubos T8F32 con balastro electrónico. Se pasa de una demanda de 96 kW a una de 58 kW por arreglo, si se utilizan los análogos de tubos T8LED de 1,2 m se pasa a una potencia de 40 W (20 W por cada tubo).
- Reconversión de luminarias con arreglos de 4 fluorescentes T12F40 con balastro electromagnético a 2 tubos T8F32 con balastro electrónico. Se pasa de una demanda de 192 kW a una de 58 kW por arreglo, si se utilizan los análogos de tubos T8LED de 1,2 m se pasa a una potencia de 40 W (20 W por cada tubo).
- Reconversión de luminarias con arreglos de 2 tubos fluorescentes T12F40CW/SS con balastro electromagnético a 2 tubos T8F32 con balastro electrónico. Se pasa de una demanda de 72 kW a una de 58 kW por arreglo, si se utilizan los análogos de tubos T8LED de 1,2 m se pasa a una potencia de 40 W (20 W por cada tubo).
- Reconversión de luminarias con arreglos de 4 tubos fluorescentes T12F40CW/SS con balastro electromagnético a 2 tubos T8F32 con balastro electrónico. Se pasa de una demanda de 144 kW a una de 58 kW por arreglo, si se utilizan los análogos de tubos T8LED de 1,2m se pasa a una potencia de 40 W (20 W por cada tubo). Se realiza la sustitución de 4 tubos T12F40CW/SS a 2 Tubos T8F17CW/SS en vista de

que los últimos propician mayor intensidad luminosa, sin embargo como ya se mencionó anteriormente antes de realizar una eliminación de las cantidades de lámparas en una luminaria es recomendable evaluar las necesidades de intensidad luminosa en cada área.

En el Cuadro 7.3 se muestran los costos de sustitución por cada arreglo de T12 según los arreglos determinados para realizar la sustitución.

**Cuadro 7.3** Costos de sustitución de arreglos T12 encontrados

Costos	Costo tubo unitario (₡)	Cantidad de tubos	Costo balastro (₡)	Cantidad de balastro	Inversión por sustitución (₡)
Arreglo 2 T8F17	1 065,00	2	6 000,00	1	8 130,00
Arreglo T8F32	1 100,00	2	6 000,00	1	8 200,00
Arreglo 2 T8 LED 0,6 m	25 000,00	2	0,00	0	50 000,00
Arreglo 2 T8 LED 1,2 m	33 000,00	2	0,00	0	66 000,00

Cada uno de los arreglos T12 encontrados deberá ser sustituido por uno de los arreglos que se encuentran en el Cuadro 7.3, como es evidente los costos de la tecnología LED son mucho mayores que las tecnologías fluorescentes, por lo que se analizará los dos proyectos por aparte para seleccionar uno de los dos.

Se despreciaron los costos de mano de obra de los electricistas debido a que la universidad cuenta con un departamento de mantenimiento que se puede encargar de los cambios sin ningún costo adicional al que ya se gira por mano de obra mensualmente. Se estima una utilización promedio de 8 horas para calcular los consumos energéticos y 250 días de utilización anual. El Cuadro 7.4 muestra los posibles ahorros de la sustitución de la tecnología T12 por tecnología T8 fluorescente.

**Cuadro 7.4** Potencial ahorro por implementación de OCE-II #1 con tubos fluorescentes T8

Arreglo	Cantidad	Potencia	Nueva potencia	AEA (kW-h)	AEA (%)	Ahorro anual (€)	Inversión (€)
Arreglo 4 tubos T12F20	14	112	34	2 184	1,46	102 648,00	113 820,00
Arreglo 2 tubos T12F40	54	96	58	4 104	2,75	192 888,00	442 800,00
Arreglo 4 tubos T12F40	1	192	58	268	0,18	12 596,00	8 200,00
Arreglo 2 tubos T12F40/CW/SS	137	72	58	3 836	2,57	180 292,00	1 123 400,00
Arreglo 4 tubos T12F40/CW/SS	21	144	58	3 612	2,42	169 764,00	172 200,00
<b>Total</b>				<b>14004</b>	<b>9,39</b>	<b>658 188,00</b>	<b>1 860 420,00</b>

Realizar esta sustitución como se muestra en el Cuadro 7.4, proporcionaría un ahorro energético anual de hasta 9,39 %. Se muestra seguidamente en el Cuadro 7.5 los ahorros producidos por la sustitución con tecnología LED.

**Cuadro 7.5** Potencial ahorro por implementación de OCE-II #1 con tubos LED T8

Arreglo	Cantidad	Potencia	Nueva potencia	AEA (kW-h)	AEA (%)	Ahorro anual (€)	Inversión (€)
Arreglo 4 tubos T12F20	14	112	18	2 632	1,76	123 704,00	50 000,00
Arreglo 2 tubos T12F40	54	96	40	6 048	4,06	284 256,00	3 596 400,00
Arreglo 4 tubos T12F40	1	192	40	304	0,20	14 288,00	66 600,00
Arreglo 2 tubos T12F40/CW/SS	137	72	40	8 768	5,88	412 096,00	9 124 200,00
Arreglo 4 tubos T12F40/CW/SS	21	144	40	4 368	2,93	205 296,00	1 398 600,00
<b>Total</b>				<b>22 120</b>	<b>14,83</b>	<b>1 039 640,00</b>	<b>14 235 800,00</b>

Existe un potencial de ahorro mayor con la sustitución de tecnología LED, se puede alcanzar un porcentaje de ahorro energético anual de 14,83 %, 5,44 % mayor que la tecnología T8 fluorescente, sin embargo el costo de implementación de esta tecnología, como se muestra en el Cuadro 7.3, puede llegar a ser hasta 9 veces más caro que la tecnología T8 fluorescente.

Otro aspecto a tomar en cuenta es la vida útil de cada tubo mientras los fluorescentes tienen una vida útil de 20 000 horas, los LEDS pueden alcanzar hasta 50 000 horas de vida (Havells Sylvania, 2013). Si se emplearan durante 8 horas en promedio todos los días se tendría una expectativa de vida útil de 7 años para los tubos fluorescentes y de 17 para los tubos LED.

Estos aspectos se toman en cuenta para evaluar la viabilidad económica de cada proyecto. La evaluación financiera de la sustitución por tubos fluorescentes T8 se muestra en el Cuadro 7.6 y en el Cuadro 7.7 se muestra la evaluación financiera de la sustitución por tecnologías LED.

**Cuadro 7.6** Evaluación financiera de la sustitución de T12 a T8 fluorescente.

<b>Año</b>	<b>Flujo de caja (₡)</b>	<b>Factor descuento (adim)</b>	<b>Valor actual (₡)</b>	<b>Valor actual neto para cada año (₡)</b>
0	-1 860 420,00	-	-	-
1	658 188,00	0,94	616 569,56	-1 243 850,44
2	751 490,43	0,88	659 458,83	-584 391,62
3	858 019,08	0,82	705 331,52	120 939,91
4	979 648,86	0,77	754 395,18	875 335,08
5	1 118 520,46	0,72	806 871,75	1 682 206,84
6	1 277 078,00	0,68	862 998,66	2 545 205,50
7	1 458 112,11	0,63	923 029,82	5 328 655,31
<b>VAN</b>				<b>5 328 655,31</b>
<b>TIR</b>				<b>42%</b>
<b>PR</b>				<b>2,83 años</b>

Teniendo en cuenta que el VAN es mayor que cero y que el TIR es mayor a la tasa de interés utilizada (6,75 %) se puede determinar que el proyecto es rentable, tomando en cuenta una expectativa de vida útil de 7 años.

De la misma manera tomando en cuenta los 17 años de vida útil esperados por los tubos LED se realiza la evaluación económica del proyecto, la cual se muestra en el Cuadro 7.7.

**Cuadro 7.7** Evaluación financiera de la sustitución de T12 a T8 LED

Año	Flujo de caja (₡)	Factor descuento (adim)	Valor actual (₡)	Valor actual neto para cada año (₡)
0	-14 235 800,00	-	-	-
1	1 039 640,00	0,94	973 901,64	-13 261 898,36
2	1 187 015,73	0,88	1 041 647,33	-12 220 251,03
3	1 355 282,92	0,82	1 114 105,49	-11 106 145,54
4	1 547 403,09	0,77	1 191 603,92	-9 914 541,62
5	1 766 757,53	0,72	1 274 493,23	-8 640 048,38
6	2 017 206,90	0,68	1 363 148,41	-7 276 899,97
7	2 303 159,09	0,63	1 457 970,55	-5 818 929,42
8	2 629 646,86	0,59	1 559 388,62	-4 259 540,81
9	3 002 416,39	0,56	1 667 861,44	-2 591 679,36
10	3 428 028,43	0,52	1 783 879,76	-807 799,60
11	3 913 973,74	0,49	1 907 968,44	1 100 168,84
12	4 468 804,96	0,46	2 040 688,87	3 140 857,71
13	5 102 287,11	0,43	2 182 641,48	5 323 499,19
14	5 825 569,47	0,40	2 334 468,48	7 657 967,67
15	6 651 381,81	0,38	2 496 856,73	10 154 824,40
16	7 594 258,42	0,35	2 670 540,89	13 824 406,83
17	8 670 793,91	0,33	2 856 306,72	15 681 672,01
<b>VAN</b>				<b>15 681 672,01</b>
<b>TIR</b>				<b>15%</b>
<b>PR</b>				<b>13,69 años</b>

Se muestra en el Cuadro 7.7 que los criterios de aceptación se cumplen también para el proyecto de los tubos LED. El proyecto sería una inversión a largo plazo ya que su inversión se recuperaría hasta dentro de 13 años.

**Implementación:** La adquisición de estos equipos se puede realizar fácilmente, así mismo la instalación la puede llevar a cabo algún electricista de la sección de mantenimiento sin coste adicional para la universidad.

**Recomendación:** En comparación, aunque los dos proyectos son viables desde el punto de vista financiero se recomienda la sustitución de los tubos T12 por fluorescentes T8,

principalmente por la magnitud de la inversión inicial que habría que realizar con los tubos LED, la cual vuelve impráctica una sustitución a corto plazo.

### 7.3.2 OCE-II #2: Instalación de sensores de ocupación en pasillos y baños

**Discusión** Existe una demanda de potencia de 7,23 kW-h en iluminación de pasillos y baños en el edificio. Se detectó que muchas veces durante las horas laborales no existe ocupación en buena parte de estas áreas y el sistema de iluminación se encuentra encendido. Para disminuir estos desperdicios es conveniente la instalación de sensores de movimiento. Se estima que con esta medida se puede reducir hasta un 30 % en el consumo de energía en estas áreas (Capehart, 2007).

Si se estima que se pueden utilizar 5 de estos por pasillo, 25 en total y uno por cada baño, es decir 6, se necesitarían en total 31 de estos equipos. Se estima un costo promedio de ₡ 20 000 por sensor. Se utilizaron para estimar el ahorro anual 250 días de trabajo laborales. Así mismo se tomó en cuenta un período de utilización de 15 horas que van desde las 7:00 a las 22:00.

**Cuadro 7.8** Potencial ahorro por implementación de la OCE-II #2

Horas	Potencia (kW)	Consumo actual anual (kW-h)	AEA (kW-h)	AEA (%)	Ahorro anual (₡)	Inversión (₡)
15	7,73	27 450	8235	5,52	387 045,00	620 000,00

La utilización de estos sistemas deriva en un ahorro energético importante, solamente aplicado en pasillos y corredores la utilización de estos equipos puede significar un ahorro de un 5,52 % del consumo energético actual del edificio. No se pudo encontrar un período de vida útil asociado a estos equipos pero se evaluará en un período de 7 años igual que el proyecto de sustitución de las lámparas T12. La medida se evalúa financieramente en el Cuadro 7.9

**Cuadro 7.9** Evaluación financiera de la OCE-II #2

Año	Flujo de caja (₡)	Factor descuento (adim)	Valor actual (₡)	Valor actual neto para cada año (₡)
0	-620 000,00	-	-	-
1	387 045,00	0,94	362 571,43	-257 428,57
2	441 911,14	0,88	387 792,30	130 363,73
3	504 554,92	0,82	414 767,57	545 131,31
4	576 078,86	0,77	443 619,27	988 750,58
5	657 741,78	0,72	474 477,93	1 463 228,51
6	750 980,96	0,68	507 483,15	1 970 711,65
7	857 437,39	0,63	542 784,24	2 513 495,89
<b>VAN</b>				<b>2 513 495,89</b>
<b>TIR</b>				<b>73 %</b>
<b>PR</b>				<b>1,60 años</b>

El valor actual neto y el TIR superior a 6,75 %, muestran un alto índice de rentabilidad en este proyecto, por lo cual se considera viable.

**Implementación:** La adquisición de estos equipos se puede realizar fácilmente, así mismo la instalación la puede llevar cabo algún electricista del sistema de mantenimiento sin coste adicional para la universidad.

**Recomendación:** Se recomienda adoptar la medida en el más corto plazo, así mismo se debe evaluar factores prácticos como la seguridad en el edificio.

### 7.3.3 OCE-II #3: Instalación de polarizado reflexivo en los laboratorios de computación.

**Discusión** Esta medida no busca mejorar la eficiencia energética en los equipos sino más bien optimizar los estados de confort térmico de manera que se reduzca la utilización de los equipos de aires acondicionados. El polarizado lo que busca es disminuir las cargas térmicas de estas áreas que entran por medio de la radiación solar.

El análisis se realizará solamente para el área C17 debido a que como ya se mencionó las otras áreas no cuentan con las condiciones de iluminación necesarias para garantizar un

confort lumínico adecuado. Esta área cuenta con un ventanal de 9,47 m<sup>2</sup> que mira hacia el sur y un ventanal de 12,1 m<sup>2</sup> que mira hacia el oeste

La ganancia de calor debido a la radiación solar que entra por las ventanas depende del ángulo de incidencia con la que los rayos del sol entran en contacto con la superficie. El ángulo de incidencia depende a su vez de la hora, la latitud donde se ubica el recinto y la altitud solar. Así mismo la posición a la que se orienta la ventana determina el ángulo de incidencia con que los rayos del sol entran al recinto. Para calcular las ganancias de calor debido a la radiación solar se utilizó el procedimiento descrito en (ASHRAE, 2009).

Se utilizarán los parámetros disponibles en la misma referencia para el día 21 de abril. En el Cuadro 7.10 se detallan los parámetros de diseño o iniciales referentes a la localización y día para los cálculos necesarios para el modelo. El modelo utiliza regresiones matemáticas basadas en el sistema de unidades ingles por lo que los parámetros y cálculos realizados se realizaron en este sistema de unidades.

**Cuadro 7.10** Parámetros de diseño para el cálculo de las ganancias de calor por radiación solar

Parámetro	Valor	Unidad
Día del año	111	
Radiación extraterrestre, $E_o$	429,00	Btu/h*ft <sup>2</sup>
Ángulo de inclinación del sol, $\delta$	11,60	°
Latitud del recinto, L	9,56	°
Longitud del recinto	-84,00	°
LSM	-90,00	°
Área ventana Sur	9,51	m <sup>2</sup>
Área ventana Oeste	12,10	m <sup>2</sup>
$\tau_b$	0,556	adim
$\tau_d$	1,779	adim
Acimut superficial sur, $\Psi_s$	0	°
Acimut superficial oeste $\Psi_o$	90	°
ab	0,725	adim
ad	0,310	adim
$\rho_g$	0,2	adim

La ganancia de calor depende de la cantidad de radiación directa que deja pasar el vidrio, el SHGC es el coeficiente de ganancia de calor solar para cada vidrio y depende del ángulo de incidencia y la transmitancia del mismo. Se pueden encontrar los valores correspondientes para cada ángulo de incidencia y tipo de vidrio en la cita ASHRAE (2009).

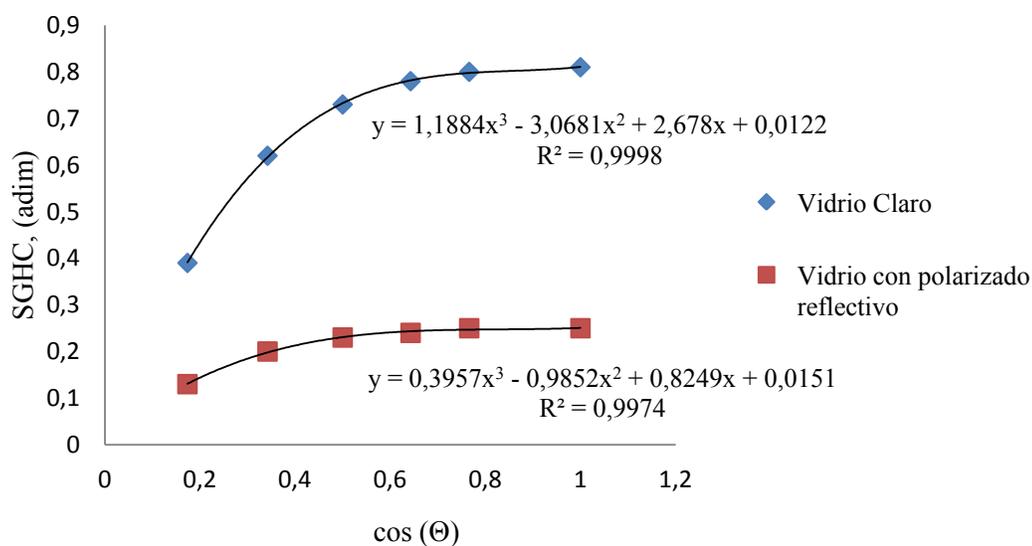
El Cuadro 7.11 resume los parámetros utilizados. Se utilizaron los datos de un vidrio claro de 0,64 cm (0,25in) de espesor y un vidrio claro con polarizado reflexivo del mismo espesor.

**Cuadro 7.11** Datos de SHGC para los vidrios utilizados

	$\Theta$	0	40	50	60	70	80	SHGC <sub>hemis</sub>
	Cos( $\Theta$ )	1,00	0,77	0,64	0,50	0,34	0,17	
SHGC	Vidrio Claro	0,81	0,80	0,78	0,73	0,62	0,39	0,39
SHGC	Polarizado Reflexivo	0,25	0,25	0,24	0,23	0,20	0,13	0,23

*Fuente: (ASHRAE, 2009)*

El SHGC<sub>hemis</sub> es el coeficiente que determina las ganancias de calor por radiación solar difusa y reflexiva, las cuales influyen también de manera significativa en la ganancia de calor total a través de la ventana.



**Figura 7.1** Correlaciones de SHGC para los tipos de vidrio utilizado

Debido a que por cada ángulo de incidencia se tiene un SGHC diferente se realiza una regresión polinómica de grado 3 a partir de los cosenos de  $\Theta$  para cada una de las series de datos, esto con el fin de poder calcular los diferentes SHGC para cada ángulo de incidencia mostrado en el Cuadro 7.11. La Figura 7.1 muestra las regresiones realizadas para cada sistema, de esta manera teniendo los datos de SGHC para cada ángulo de incidencia, se puede calcular el total de calor generado multiplicando por las radiaciones directas por hora y el área correspondiente de cada ventana, para encontrar el calor por radiación directa que entra a través de las mismas

Las ganancias de calor debido a la radiación directa que entra a la habitación se muestran en el Cuadro 7.12.

**Cuadro 7.12** Ganancia de calor por radiación directa presentada por hora para el vidrio claro

Hora solar	$E_b$ (Btu*h/ft <sup>2</sup> )	$\Theta_s$	$\Theta_o$	SGCHF ( $\Theta_s$ )	SGCHF ( $\Theta_o$ )	$q_{sb}$ (Btu/h)	$q_{ob}$ (Btu/h)
1	-	69,18	104,69	0,63	0,88	-	-
2	-	70,17	119,33	0,61	2,18	-	-
3	-	71,74	133,84	0,59	3,71	-	-
4	-	73,76	148,03	0,55	5,19	-	-
5	-	76,09	161,12	0,50	6,28	-	-
6	8,19	78,56	168,40	0,43	6,67	71,36	-
7	109,48	81,01	161,12	0,36	6,28	626,36	-
8	175,40	83,28	148,03	0,29	5,19	595,27	-
9	211,56	85,22	133,84	0,21	3,71	384,38	-
10	232,04	86,71	119,33	0,16	2,18	211,35	-
11	242,71	87,64	104,69	0,12	0,88	119,10	-
12	246,03	87,96	90,00	0,10	0,01	92,38	-
13	242,71	87,64	75,31	0,12	0,51	119,10	4 113,93
14	232,04	86,71	60,67	0,16	0,73	211,35	10 768,16
15	211,56	85,22	46,16	0,21	0,79	384,38	15 079,60
16	175,40	83,28	31,97	0,29	0,80	595,27	15 534,50
17	109,48	81,01	18,88	0,36	0,81	626,36	10 874,72
18	8,19	78,56	11,60	0,43	0,81	71,36	845,14
19	-	76,09	18,88	0,50	0,81	-	-
20	-	73,76	31,97	0,55	0,80	-	-
21	-	71,74	46,16	0,59	0,79	-	-

**Cuadro 7.12 (Continuación)** Ganancia de calor por radiación directa presentada por hora para el vidrio claro

Hora solar	$E_b$ (Btu*h/ft <sup>2</sup> )	$\Theta_s$	$\Theta_o$	SGCHF ( $\Theta_s$ )	SGCHF ( $\Theta_o$ )	$q_{sb}$ (Btu/h)	$q_{ob}$ (Btu/h)
22	-	70,17	60,67	0,61	0,73	-	-
23	-	69,18	75,31	0,63	0,51	-	-
24	-	68,84	90,00	0,64	0,01	-	-

Una vez calculado la generación de calor por radiación directa se realiza los cálculos de la radiación difusa tomando en cuenta los  $SHGC_{hemis}$  que se muestran en el Cuadro 7.11. La radiación difusa acá mostrada toma en cuenta la radiación reflejada desde la tierra hasta la ventana, el parámetro Y es el ajuste que se utiliza para compensar la altitud solar.

Las ganancias de calor debido a la radiación directa que entra a la habitación se muestran en el Cuadro 7.13.

**Cuadro 7.13** Ganancia de calor por radiación difusa presentada por hora utilizando el vidrio claro

Hora solar	$E_d$ BTU*h/ft <sup>2</sup>	$E_r$ BTU*h/ft <sup>2</sup>	$Y_s$ adim	$Y_s$ adim	$q_{sd}$ Btu*h	$q_{od}$ Btu*h
1	-	-	0,74	0,46	-	-
2	-	-	0,73	0,41	-	-
3	-	-	0,72	0,40	-	-
4	-	-	0,70	0,40	-	-
5	-	-	0,67	0,42	-	-
6	6,98	0,73	0,65	0,42	391,30	349,43
7	31,47	6,25	0,63	0,42	1 930,58	1 841,00
8	48,50	13,91	0,61	0,40	3 219,46	3 187,48
9	59,74	21,13	0,59	0,40	4 188,90	4 266,91
10	67,00	26,89	0,58	0,41	4 872,73	5 174,56
11	71,09	30,57	0,57	0,46	5 281,94	6 010,83
12	72,42	31,83	0,57	0,55	5 418,20	6 813,10
13	71,09	30,57	0,57	0,68	5 281,94	7 508,61
14	67,00	26,89	0,58	0,84	4 872,73	7 901,33
15	59,74	21,13	0,59	1,00	4 188,90	7 705,67
16	48,50	13,91	0,61	1,15	3 219,46	6 606,19
17	31,47	6,25	0,63	1,24	1 930,58	4 315,20

**Cuadro 7.13 (Continuación)** Ganancia de calor por radiación difusa presentada por hora utilizando el vidrio claro

<b>Hora solar</b>	<b>E<sub>d</sub> BTU*h/ft<sup>2</sup></b>	<b>E<sub>r</sub> BTU*h/ft<sup>2</sup></b>	<b>Y<sub>s</sub> adim</b>	<b>Y<sub>s</sub> adim</b>	<b>q<sub>sd</sub> Btu*h</b>	<b>q<sub>od</sub> Btu*h</b>
18	6,98	0,73	0,65	1,28	391,30	917,98
19	-	-	0,67	1,24	-	-
20	-	-	0,70	1,15	-	-
21	-	-	0,72	1,00	-	-
22	-	-	0,73	0,84	-	-
23	-	-	0,74	0,68	-	-
24	-	-	0,75	0,55	-	-

Se adicionan las ganancias de calor por radiación difusa y la directa de cada ventana para obtener el total de generación de energía mostrado en el Cuadro 7.14.

**Cuadro 7.14** Ganancia de calor total por hora utilizando vidrio claro

<b>Hora solar</b>	<b>q<sub>s</sub> (Btu*h)</b>	<b>q<sub>o</sub> (Btu*h)</b>	<b>q<sub>t</sub> (Btu*h)</b>
1	-	-	-
2	-	-	-
3	-	-	-
4	-	-	-
5	-	-	-
6	462,66	349,43	812,09
7	2 556,95	1 841,00	4 397,95
8	3 814,74	3 187,48	7 002,22
9	4 573,28	4 266,91	8 840,19
10	5 084,08	5 174,56	10 258,64
11	5 401,04	6 010,83	11 411,87
12	5 510,58	6 813,10	12 323,68
13	5 401,04	11 622,54	17 023,57
14	5 084,08	18 669,49	23 753,57
15	4 573,28	22 785,27	27 358,55
16	3 814,74	22 140,69	25 955,42
17	2 556,95	15 189,92	17 746,87
18	462,66	1763,12	2 225,78
19	-	-	-
20	-	-	-
21	-	-	-

**Cuadro 7.14 (Continuación)** Ganancia de calor total por hora utilizando vidrio claro

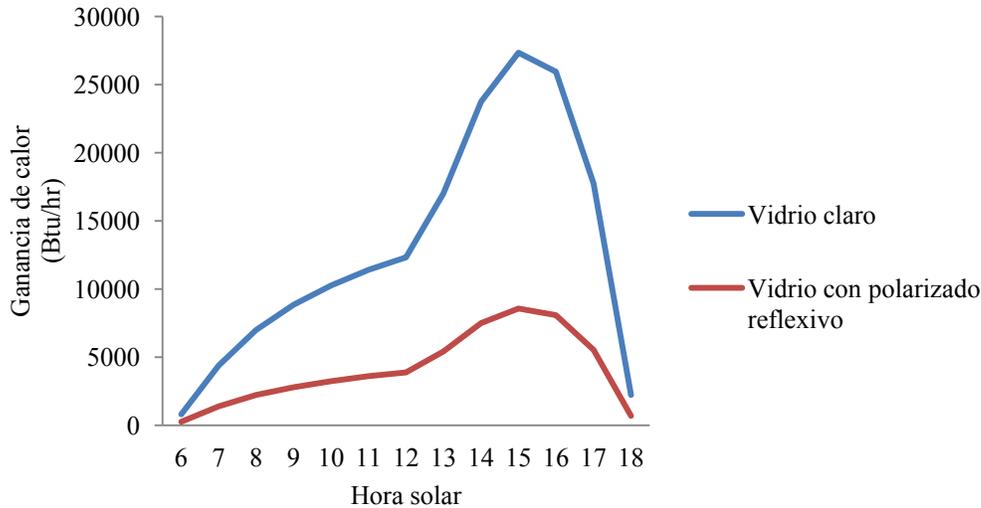
Hora solar	$q_s$ (Btu*h)	$q_o$ (Btu*h)	$q_t$ (Btu*h)
22	-	-	-
23	-	-	-
24	-	-	-

Se realiza el mismo procedimiento con los valores de SGCH para el vidrio con polarizado reflexivo y se obtienen los resultados mostrados en el Cuadro 7.15.

**Cuadro 7.15** Ganancia de calor total por radiación utilizando vidrio con polarizado reflexivo.

Hora solar	$q_s$ (Btu*h)	$q_o$ (Btu*h)	$q_t$ (Btu*h)
1	-	-	-
2	-	-	-
3	-	-	-
4	-	-	-
5	-	-	-
6	146,92	110,09	257,01
7	819,42	580,04	1 399,47
8	1 220,33	1 004,28	2 224,61
9	1 458,04	1 344,37	2 802,41
10	1 615,54	1 630,34	3 245,88
11	1 712,31	1 893,82	3 606,14
12	1 745,62	2 146,59	3 892,21
13	1 712,31	3 707,03	5 419,34
14	1 615,54	5 883,25	7 498,79
15	1 458,04	7 109,62	8 567,66
16	1 220,33	6 877,04	8 097,37
17	819,42	4 716,14	5 535,57
18	146,92	550,26	697,18
19	-	-	-
20	-	-	-
21	-	-	-
22	-	-	-
23	-	-	-
24	-	-	-

Los totales de ganancia de calor de los dos sistemas de vidrio se muestran en la Figura 7.2.



**Figura 7.2** Ganancias de calor total debido a la radiación con los dos tipos de ventana

Como se puede observar en la Figura 7.2 las ganancias de calor que presenta el vidrio con polarizado reflexivo son severamente menores que con el vidrio claro. Se puede obtener el total de energía que entra en cada una de las opciones integrando o calculando el área bajo la curva de ambas series de datos. Para realizar este cálculo se utilizó el programa Curveexpert y se ajustaron a una regresión cubicspline para integrar ambas gráficas de (6-18) horas. Los resultados se muestran a en el Cuadro 7.16.

**Cuadro 7.16** Total de calor acumulado diario debido a la radiación para los dos tipos de ventana

<b>Vidrio claro (Btu)</b>	<b>Vidrio polarizado (Btu)</b>	<b>Calor no acumulado (Btu)</b>
169 530,16	53 370,90	116 159,27

De esta manera existe un total de 116 159,27 Btu que no es necesario enfriar o retirar del espacio mediante el uso del equipo de aire acondicionado. Teniendo en cuenta que la capacidad del equipo en esta área es de 17,58 kW (60000 Btu/h) se ahorraría diariamente

casi 2 horas de uso del mismo. En el Cuadro 7.17 se detallan los costos de operación por hora de este equipo.

**Cuadro 7.17** Costos y parámetros operativos del equipo de aire acondicionado en la localización C17

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Capacidad (Btu/h)</b>	60 000
<b>Potencia nominal (kW)</b>	5,88
<b>Energía consumida en 1 hora (kW-h)</b>	5,88
<b>Calor extraído en 1 hora (kW-h)</b>	60 000
<b>Costo operativo por hora (₡)</b>	276,36

En cuanto a los costos de esta medida se consulto con la empresa polarizados Guillen y se obtuvo un costo de ₡ 11 500, si se tienen 9,47 m del ventanal sur y 12,10 del ventanal oeste se tiene una inversión de ₡ 248 055.

En el Cuadro 7.18 se resumen los ahorros y los costos finales de esta medida, al igual que en las otras OCEs descritas en este capítulo se utilizaron 250 días de trabajo por año para calcular el ahorro anual.

**Cuadro 7.18** Potencial ahorro por implementación de la OCE-II #3

<b>Calor no acumulado diario</b>	<b>Horas ahorradas diarias</b>	<b>AEA (kW-h)</b>	<b>AEA (%)</b>	<b>Ahorro anual (₡)</b>	<b>Inversión (₡)</b>
115 159,27	1,93	2 836,62	1,90	133 734,65	248 055,00

Se puede observar en el Cuadro 7.18 que se obtiene un porcentaje de ahorro de 1,90 %. Esta medida debe ser tomada en cuenta debido a su potencial de uso en otros espacios acondicionados y a su relativo bajo costo de implementación.

En el Cuadro 7.19 se muestra la evaluación financiera de esta opción de conservación de energía.

**Cuadro 7.19** Evaluación financiera de la OCE-II #3

Año	Flujo de caja (₡)	Factor descuento (adim)	Valor actual (₡)	Valor actual neto para cada año (₡)
0	-248 055,00		-	-
1	133 734,646	0,94	125 278,36	-122 776,64
2	152 692,40	0,88	133 992,86	112 16,22
3	174 337,54	0,82	143 313,55	154 529,77
4	199 051,02	0,77	153 282,61	307 812,38
5	227 267,80	0,72	163 945,12	471 757,49
<b>VAN</b>				<b>471 757,49</b>
<b>TIR</b>				<b>57%</b>
<b>PR</b>				<b>1,85 años</b>

Debido a que como se muestra en el Cuadro 7.18 el VAN es superior a 0 y el TIR es mayor que la tasa de interés seleccionada (6,75 %), los criterios de aceptación del proyecto se cumplen, por lo que desde el punto de vista financiero es viable la implementación de esta medida.

**Implementación:** La instalación del material la lleva a cabo la empresa distribuidora previamente mencionada, el costo de la instalación está cubierto en el costo mencionado anteriormente

**Recomendación:** En vista que el proyecto es viable y no requiere una alta inversión inicial se recomienda la instalación del polarizado en el menor corto tiempo posible. Se pueden esperar resultados similares en las secciones C5 y C9, pero es necesario garantizar el confort lumínico en estas áreas antes de proceder a la instalación del polarizado.

#### 7.3.4 OCE-II #4: Sustitución de computadoras tipo desktop por laptops.

Debido a que existen gran cantidad de computadoras en el edificio, se presenta la opción de sustituirlas por computadoras tipo laptops, como ya se mencionó muchas de las computadoras utilizadas actualmente pueden requerir una potencia promedio de hasta 80 W y un monitor LCD de 43,18 cm (17 in) como mínimo utilizará una potencia de 17 W, una

computadora laptop con las mismas utilidades según puede ocupar una potencia de solo 19 W, por lo que existe un ahorro energético considerable.

Para estimar los ahorros de esta medida se utilizaron 8 horas de uso diario y 250 días de trabajo laboral de las mismas. Así mismo se supuso un costo de ₡ 320 000 por una laptop básica y se evaluó a un período de vida de las laptops de 5 años en total. En el Cuadro 7.20 se muestran los ahorros esperados.

**Cuadro 7.20** Potencial ahorro por implementación de la OCE-II #4

Cantidad total CPU	Potencia (W)	Nueva potencia (W)	AEA (kW-h)	AEA (%)	Ahorro anual (₡)	Inversión (₡)
256	97	19	39 937,50	26,78	1 876 992,00	81 920 000,00

Realizar esta sustitución de equipo conllevaría un ahorro de un 26,78 % en base al consumo anual del edificio, lo cual se considera el un ahorro bastante significativo. Sin embargo como se muestra en el Cuadro 7.20 la magnitud de la inversión inicial es considerable.

Otro aspecto a tomar en cuenta es el uso final de los computadores, aunque el ahorro es bastante atractivo, la administración de cada área debe tener en cuenta si el nuevo equipo seguirá manteniendo su funcionalidad. Particularmente esto es importante en laboratorios de computación donde debido a la movilidad de estos equipos, se puede facilitar el hurto de los mismos.

El Cuadro 7.21 muestra la evaluación financiera de esta medida

**Cuadro 7.21** Evaluación financiera de la OCE-II #4

Año	Flujo de caja (₡)	Factor descuento (adim)	Valor actual (₡)	Valor actual neto para cada año (₡)
0	-81 920 000,00		-	-
1	1 876 992	0,94	1 758 306,32	-80 161 693,68
2	2 143 067,82	0,88	1 880 616,09	-78 281 077,59
3	2 446 861,61	0,82	2 011 433,86	-76 269 643,73

**Cuadro 7.21 (Continuación)** Evaluación financiera de la OCE-II #4

<b>Año</b>	<b>Flujo de caja (₡)</b>	<b>Factor descuento (adim)</b>	<b>Valor actual (₡)</b>	<b>Valor actual neto para cada año (₡)</b>
4	2 793 720,15	0,77	2 151 351,46	-74 118 292,28
5	3 189 748,14	0,72	2 301 001,88	-71 817 290,39
<b>VAN</b>				<b>-71 817 290,39</b>
<b>TIR</b>				<b>-</b>
<b>PR</b>				<b>43,64 años</b>

Como es posible observar los criterios de aceptación no se cumplen para esta medida debido a su gran inversión, por lo que el proyecto de sustitución no es viable desde el punto de vista financiero

**Recomendación:** Esta medida representa un gran ahorro, sin embargo la inversión inicial imposibilita la sustitución inmediata, es recomendable esperar a que las computadoras que se utilizan actualmente cumplan su vida útil y sea necesaria remplazarlas para evaluar la viabilidad de la adquisición de las computadoras laptop.

Cada administración del edificio debe tomar en consideración otros aspectos como mantenimiento, operación y seguridad de los equipos en función del uso final de los mismos, esto para poder comparar con los posibles beneficios energéticos y económicos y así tomar una decisión definitiva acerca del remplazo.

## **7.4 Oportunidades de conservación de energía de nivel III (OCE-III)**

### **7.4.1 OCE-III#1. Valorar un rediseño en el sistema completo de iluminación**

Se debe realizar una simulación que permita rediseñar las luminarias necesarias por zona de manera que cumplan las necesidades visuales y al mismo tiempo cumplan los estándares de iluminación requeridos según el trabajo o uso final del área. Mediante este estudio se analiza también la factibilidad de realizar una sustitución de las luminarias completas incluyendo gabinetes, difusores, y los movimientos arquitectónicos requeridos.

Realizar una modificación en el diseño involucra altos costos en compra de gabinetes y modificaciones a las paredes y techos del edificio, los costos de estas modificaciones pueden llegar a ser elevados por lo que es recomendable un estudio detallado antes de proceder.

### 7.5 Evaluación del paquete de OCEs y su impacto en el EUI

Analizadas una por una las oportunidades enlistadas se evaluarán ahora de manera global teniendo en cuenta los posibles ahorros anuales y las inversiones totales para un proyecto de 7 años. Se resumen en el Cuadro 7.22 los ahorros e inversiones de las OCEs aceptadas.

**Cuadro 7.22** Resumen de la implementación del paquete de OCEs aceptadas

Numero OCE	Descripción	AEA (kW-h)	AEA (%)	Ahorro anual (€)	Inversión (€)
OCEI-1	Eliminar la utilización de luces de pasillos en períodos de no ocupación del edificio	32 606,85	21,87	1 532 521,95	0,00
OCEI-2	Reducción de las cargas parasíticas del edificio	7 752,00	5,20	364 344,00	0,00
OCEII-1	Sustitución de lámparas fluorescentes T12 por lámparas fluorescentes T8	14 004,00	9,39	658 188,00	1 860 420,00
OCEII-2	Instalación de sensores de ocupación en pasillos y baños	8 235,00	5,52	387 045,00	620 000,00
OCEII-3	Instalación de polarizado reflexivo en el área C17	2 836,62	1,90	133 734,65	248 055,00
<b>Total</b>		<b>65 434,47</b>	<b>43,88</b>	<b>1 668 886,25</b>	<b>2 728 475,00</b>

Como se puede observar en el Cuadro 7.22 se puede lograr un ahorro energético de casi la mitad del consumo actual a partir de mejoras prácticas y con una inversión mínima. Se puede observar que la OCEI-1 es la que mayor potencial de ahorro aporta al proyecto y no requiere ninguna inversión, por lo que una implementación inmediata de la misma es necesaria, la operación correcta de los equipos como en este caso es de vital importancia para la mejora del desempeño energético del edificio.

A partir del total de ahorros e inversión se plantea el proyecto de ahorro de energía a un plazo de 5 años como mínimo, debido a que fue el ciclo de vida más corto de los equipos y

materiales analizados en secciones anteriores. Se puede encontrar la evaluación financiera del conjunto de OCEs en el Cuadro 7.23.

**Cuadro 7.23** Evaluación financiera del paquete de OCEs aceptadas

<b>Año</b>	<b>Flujo de caja (₡)</b>	<b>Factor descuento</b>	<b>Valor actual (₡)</b>	<b>Valor actual neto para cada año (₡)</b>
0	-2 728 475,00		-	-
1	1 668 886,25	0,94	1 563 359,48	-1 165 115,52
2	1 905 461,72	0,88	1 672 108,53	506 993,01
3	2 175 573,31	0,82	1 788 422,28	2 295 415,29
4	2 483 974,97	0,77	1 912 826,94	4 208 242,23
5	2 836 094,56	0,72	2 045 885,33	6 254 127,56
<b>VAN</b>				<b>6 254 127,56</b>
<b>TIR</b>				<b>66%</b>
<b>PR</b>				<b>1,63 años</b>

Teniendo en cuenta que la tarifa a la cual está sometido el inmueble es mínima, la rentabilidad del proyecto es apreciable ya que se cumplen con un amplio margen los criterios de aceptación financiera ya mencionados. Se pueden obtener resultados mucho mejores desde el punto de vista financiero para edificios similares que no poseen la tarifa preferencial de la Universidad de Costa Rica. Así mismo se puede obtener una mejora circunstancial en la factura mensual por una disminución en la demanda la cual no fue tomada en cuenta en estas evaluaciones.

Para cuantificar la mejora del desempeño energético del edificio se calcula el nuevo EUI tomando en cuenta la implementación de las OCEs aceptadas, los resultados se muestran en el Cuadro 7.24.

**Cuadro 7.24** Mejora del EUI con la implementación del paquete de OCEs

<b>Área bruta (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Consumo anual 2013 (kW-h/año)</b>	<b>AEA (kW- h/año)</b>	<b>Nuevo consumo (kW-h/año)</b>	<b>EUI 2013 (kW-h/ m<sup>2</sup>*año)</b>	<b>Nuevo EUI (kW-h/ m<sup>2</sup>*año)</b>	<b>% mejora</b>
2 737,94	149 125	65 434,47	83 690,53	54,56	30,57	43,96

Como se muestra en el Cuadro 7.24, solo en base a las recomendaciones prácticas acá mencionadas existe un gran potencial de mejora en el desempeño energético, un 42,43 % es más que considerable y debe ser el objetivo a alcanzar en los próximos 5 años según el proyecto de conservación energética acá presentado. Si se logra abarcar todo el potencial energético que conlleva cada uno de estas medidas el edificio estaría entre el 10 % de los edificios con mejor desempeño energético en cuanto a energía eléctrica se refiere, según el Cuadro 6.5.

Se deben analizar las opciones de conservación de nivel III para evaluar una posible optimización todavía más amplia, modelados a través de “software” especializado pueden llegar a diagnosticar posibles nuevas mejoras y justificar inversiones de mayor nivel.

Es necesario un monitoreo constante después de la implementación de estas medidas, la revisión y comparación periódica de las facturaciones mensuales con los datos recopilados y analizados en este trabajo constituyen las herramientas básicas para dar seguimiento al proyecto energético acá presentado. Así mismo se puede monitorear el estado energético del inmueble una semana al mes con los equipos utilizados en esta auditoría para un seguimiento más riguroso. Los costos de realizar este monitoreo son prácticamente nulos debido a que la universidad cuenta con este equipo y personal adiestrado en el uso de los mismos, por lo que es recomendable desde un punto de vista tanto energético como financiero.



## **CAPÍTULO 8**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **8.1 Conclusiones**

- Debido a que se cuenta con una tarifa preferencial el inmueble cuenta con un sistema tarifario óptimo, debido al costo relativo bajo en comparación con otras tarifas de la compañía distribuidora y al consumo de energía del mismo
- Se determinó que las demandas máximas del edificio se encuentran en los meses de marzo, abril y mayo, debido a una combinación entre la ocupación del edificio y los factores climatológicos que llegan a afectar el uso del equipo de acondicionamiento del aire.
- Se determinó en base a los históricos de consumo que existen 2 períodos de consumo en el edificio, caracterizado por la ocupación de los mismos. Se midieron y encontraron potencias máximas requeridas de 42,75 kW y 62,32 kW en períodos de baja y alta ocupación respectivamente para todo el edificio. Así mismo se midieron demandas máximas de 31,82 kW y 50,55 kW para los mismos períodos respectivamente.
- Se determinó un consumo semanal de 2 027,60 kW-h en períodos de baja ocupación y de 3 161 kW-h en períodos de alta ocupación. Así mismo se midió un consumo diario máximo para los mismos períodos de 436,42 kW-h y de 576,67 kW-h respectivamente.
- Se determinó un EUI de 54,56 (kW-h/m<sup>2</sup>\*año) el cual se encuentra entre los mejores índices de desempeño encontrados para edificios de la misma categoría y utilización de la misma clase de energía.
- Se encontraron que los índices de factor de carga varían entre 30 % y 40 % en el año dependiendo de factores como la ocupación y los estados climatológicos.

- No existe una medición correcta del factor de potencia del edificio se encontraron irregularidades en su facturación y se pudo comprobar que estas no concuerdan con los valores reales medidos.
- Se encontraron valores de factor de potencia de 0,87 y 0,88 para cada uno de los períodos evaluados respectivamente, en momentos de potencia máxima. Según el análisis realizado con los datos obtenidos no se considera rentable la instalación de un banco de capacitores para corregir el problema.
- Se determinó un balance de energía en base al inventario y al día con el mayor consumo energético registrado, 7 de abril del 2014, con un 7,54 % de error.
- El inmueble maneja una serie de arreglos de luminarias ineficientes que en diversos casos no garantiza el confort lumínico adecuado, ni cumple con los requisitos de LPD establecidos por la normativa ASHRAE. y IESNA.
- Se determinó un perfil de temperatura y humedad relativa para las áreas C17, C9, C5, se encontró una temperatura máxima de 26,16 °C y una humedad relativa máxima de 79,96 %. Los sistemas actuales son capaces de controlar los estados de temperatura y humedad relativa para alcanzar estados de confort, sin necesidad de añadir otros equipos.
- No existe un dimensionamiento preciso de los equipos de aire acondicionado del edificio.
- No es recomendable desde el punto de vista económico realizar una sustitución inmediata de los equipos de aire acondicionado buscando una mejora en la eficiencia o el dimensionamiento. Se debe esperar a que los equipos actuales terminen su ciclo de vida para realizar esta sustitución.
- Se determinó un paquete de opciones de conservación de energía con un potencial AEA de 65 434,47 kW-h, equivalente a un 43,88 % del consumo actual del inmueble. El paquete de OCEs generarían un ahorro monetario anual de ₡ 1 668 886,25 y requeriría una inversión total de ₡ 2 728 474,00.
- Se determinó el nuevo EUI tomando en cuenta la implementación del paquete de opciones de conservación de energía para un valor de 30,57 (kW-h/m<sup>2</sup>\*año), lo que

equivaldría a una mejora de 43,96 % en el desempeño energético del inmueble auditado.

## 8.2 Recomendaciones

- Realizar una reestructuración de los horarios de clase en las áreas con máxima capacidad instalada, es decir las áreas C17, C4, C5 y B4 de manera que solo una o dos estén activas durante los horarios de la tarde. Implementar esta medida conllevaría un posible ahorro en la demanda máxima de hasta 8,35 kW y una disminución de hasta ₡ 63 364,75 en la facturación mensual.
- Implementar las recomendaciones generales y el paquete de OCEs aceptadas, en el menor tiempo posible teniendo en cuenta que se tratan de inversiones relativamente bajas, y con un gran potencial de ahorro energético y monetario.
- Realizar un mayor monitoreo con los equipos Hobos tanto en las áreas estudiadas en el trabajo, como en otras áreas del edificio. Esto para obtener perfiles de confort térmico y lumínico más detallados a los que se encuentran en esta auditoría.
- Realizar un monitoreo mensual o por bimestre con el equipo Fluke 435 después de implementar las OCEs acá mencionadas para evaluar su impacto real en la demanda y en el consumo energético. También se deben archivar las futuras facturas mensuales de energía para tener un punto de comparación entre los posibles ahorros energéticos y monetarios.
- Realizar una campaña de conservación de energía mediante la cual los usuarios del inmueble puedan tomar conciencia acerca de la necesidad de la reducción de la demanda energética tanto local como a nivel nacional.
- Implementar proyectos de similar naturaleza en otros edificios de la Universidad de Costa Rica y en los nuevos proyectos por venir de la institución.



## BIBLIOGRAFÍA

Al-Azzawi, A. (2006). *Light and Optics; Principles and Practice*. Boca Raton, Florida: CRC Press.

Alternative Energy Systems Consulting, Inc. (17 de 4 de 2014). *2013-14 Statewide Customized Retrofit Offering Procedures Manual for Business*. Obtenido de Appendix B Table of Standard Fixture Wattages and Sample Lighting Table: <http://www.aesc-inc.com/download/spc/2013SPCDocs/PGE/App%20B%20Standard%20Fixture%20Watts.pdf>

ARESEP. (20 de Mayo de 2014). *Datos Estadísticos Por Sector Regulado*. Obtenido de Ventas de energía por empresa 2007-2012: [http://www.aresp.go.cr/images/documentos/ENERGÍA/3.Estadisticas/SEN\\_97-2012.xlsx](http://www.aresp.go.cr/images/documentos/ENERGÍA/3.Estadisticas/SEN_97-2012.xlsx)

ASHRAE. (2004). *Procedures for Common Building Energy Audits*. Atlanta: ASHRAE.

ASHRAE. (2009). *Handbook of Fundamentals*. Atlanta: ASHRAE.

ASHRAE. (2011). *Advanced Energy Design Guide for K-12 Schools Buildings*. Atlanta : ASHRAE Publications.

ASHRAE. (2011). *Handbook of Applications*. Atlanta: ASHRAE.

Badilla, G., & Soto, F. (2001). *Auditoría Energética del Sistema Eléctrico de Industrias Cerdas S.A.* San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

Banco Central de Costa Rica. (20 de Mayo de 2014). *Indicadores Económicos del Banco Central de Costa Rica*. Obtenido de <http://indicadoreseconomicos.bccr.fi.cr/indicadoreseconomicos/Cuadros/frmVerCatCuadro.aspx?idioma=1&CodCuadro=280>

Banco Central de Costa Rica. (20 de Mayo de 2014). *Página Principal del Banco Central de Costa Rica*. Obtenido de <http://www.bccr.fi.cr/>

Barboza, C. M. A. (2002). *Evaluación de alternativa de ahorro energético para la implementación de un programa de eficiencia energética en el edificio regional del Instituto Costarricense de Electricidad en Liberia*. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica

Capehart, B. (2007). *Encyclopedia of Energy Engineering and Technology*. Boca Raton: CRC Press.

Carnicer, R. E. (1995). *Aire Acondicionado*. Madrid, España: Paraninfo.

Chávez, B. T. (2012). *Auditoría energética en un beneficio de café*. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

Cornell University Law School. (25 de Mayo de 2014). *Legal Information Institute*. Obtenido de <http://www.law.cornell.edu/cfr/text/10/431.97>

Dyes, H. H. (2009). *Módulos Fotovoltaicos para la Generación de Energía Eléctrica*. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

Escobar, G., Saludes, D., & Toledo, J. M. (2003). *Manual de Auditorias Energeticas*. Madrid, España.: Cámara Oficial de Comercio e Industria de Madrid y Comunidad de Madrid.

Grigsby, L. L. (2012). *Electric Power Generation, Transmission and Distribution*. Boca Raton, Florida: CRC Press.

Havells Sylvania. (2013). *Catálogo de Soluciones e Iluminación Sylvania*. San José, Costa Rica: Sylvania.

Instituto Meteorológico de Costa Rica. (20 de Mayo de 2014). *Datos Climáticos para San José, Costa Rica*. Obtenido de [http://www.imn.ac.cr/IMN/MainAdmin.aspx?\\_\\_EVENTTARGET=ClimaCiudad&CIUDAD=7](http://www.imn.ac.cr/IMN/MainAdmin.aspx?__EVENTTARGET=ClimaCiudad&CIUDAD=7)

INTECO. (2011). *INTE/ISO 50001*. San José, Costa Rica: INTECO.

Krarti, M. (2011). *Energy Audit of Building Systems: An Engineering Approach*. Boca Raton, Fl. Estados Unidos: CRC Press.

Kreith, F., & Goswami, D. (2008). *Energy Management and Conservation Handbook*. Florida, USA: CRC Press.

MINAET. (2011). *VI Plan Nacional de Energía 2012-2030*. San José, Costa Rica: Dirección Sectorial de Energía.

Molina, M., Chinchilla, F., Rodríguez, A., Castrena, E., & Molina, A. (1994). *Auditorías Energéticas en Establecimientos de Consumo de Energía, Desarrollo y Contenido del Dictamen Energético*. San José, Costa Rica: INTECO.

Mora, A. S. (1999). *Evaluación de la Climatización Pasiva como alternativa para mejorar la eficiencia energética*. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

National Renewable Energy Laboratory. (2011). *Energy Auditing Workshop*. San José, Costa Rica.

Rey, M. F. J., & Velasco, G. E. (2006). *Eficiencia Energética en Edificios*. Madrid, España: Thomson.

Rodríguez, V. (2010). *Formulación y Evaluación de Proyectos*. México: Limusa.

Sylvania. (2007). *Catálogo Luminarias 2007*. San José, Costa Rica: Sylvania.

Tapia, M. R. (2002). *Auditoría Energética del Sistema Eléctrico del Archivo Nacional*. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

The Chartered Institution of Building Services Engineers. (2007). *Inspection of air conditioning systems*. Londres: CIBSE Publications.



## NOMENCLATURA

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>	<b>Unidad</b>
A:	Área	m <sup>2</sup>
C	Consumo energético mensual	kW-h
P:	Potencia	W
PA:	Potencia activa	W
PR	Potencia reactiva	VAR
PAP	Potencia aparente	VA
DM	Demanda máxima mensual	kW
FC	Factor de carga	Adimensional
FP	Factor de potencia	Adimensional
EUI:	Índice de utilización de energía	kW-h/(m <sup>2</sup> *año)
EEUI	Índice de utilización de energía eléctrica	kW-h/(m <sup>2</sup> *año)
HR:	Humedad relativa	%
T	Temperatura	°C
TIR	Tasa interna de retorno	%
VAN	Valor actual neto	₡
PR	Periodo de recuperación	
TBP:	Tasa básica pasiva	%
TSE:	Tasa escalonada de aumento de precio	%.
TI:	Tasa inflación	%
EER	Radio eficiencia energética	Btu/W-h
LPD	Densidad de potencia de arreglos de iluminación	kW-h/ m <sup>2</sup>
LSM	Longitud con respecto al meridiano	°
δ	Ángulo de inclinación Solar	°
L:	Latitud	°
H	Ángulo de hora solar	°
:β	Ángulo de altitud solar	°
Φ	Ángulo acimut	°
Ψ	Ángulo acimut superficial	
γ	Ángulo acimut superficial solar	°
m	Masa relativa de aire	Adimensional
E	Radiación solar	Btu/h*ft <sup>2</sup>
τ	Coefficiente de profundidad óptica	Adimensional
a	Coefficiente exponencial de profundidad óptica	Adimensional
ρ <sub>g</sub>	Coefficiente de reflexión del suelo	
SGHC	Coefficiente de ganancia de calor solar	Adimensional

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>	<b>Unidad</b>
q	Ganancia de calor solar	Btu/h

**Subíndices**

Med	Refiérase al valor medio
Max:	Refiérase al valor máximo
Min:	Refiérase al valor mínimo
b:	Radiación directa
d:	Radiación difusa
o	Radiación extraterrestre
tr	Radiación reflexiva del suelo
v	Ventana
o	Oeste"
s	Sur
c	Capacitores
d	Diseño

## **APÉNDICES**



## A. Resultados experimentales y datos recopilados

**Cuadro A.1** Información de las áreas pertenecientes al piso 1

Código	Nombre	Descripción	Área (m <sup>2</sup> )
A1	Baño	Habitables	5,2
A2	Baño en mal estado	Bodega	3,52
A3	Cocina	Habitables	3,82
A4	F1-50	Mantenimiento	4,3
A5	Extensión del taller de Ingeniería Mecánica	Taller	69,9
A6	Comedor	Habitables	6,2
A7	Oficina 1 del taller de Ingeniería Mecánica	Oficina	18,9
A8	Taller de Ingeniería Mecánica	Taller	154
A9	Cuarto del transformador principal	Bodega	18,9
A10	Oficina 2 del taller de Ingeniería Mecánica	Oficina	31,43
A11	Sala de estudios de Ingeniería Mecánica	Aula	19,71
A12	Laboratorio de Sólidos	Aula	50,12
A13	Asociación de Estudiantes de Ingeniería Topográfica	Habitables	24,06
A14	Laboratorio de cómputo de Ingeniería Mecánica	Aula	30,87
A15	Asociación de Ingeniería Mecánica	Habitables	19,67
	Pasillos	Pasillo	138,91

**Cuadro A.2** Información de las áreas pertenecientes al piso 2

Código	Nombre	Descripción	Área (m <sup>2</sup> )
B1	Baño de hombres	Baño	13,52
B2	IDF-2	Mantenimiento	4,56
B3	Bodega	Bodega	4,82
B4	Laboratorio de termofluidos	Laboratorio	82,98
B5	Oficinas Profesores de Ingeniería Mecánica	Oficina	103,46
B6	Dirección de maestría de Ingeniería Industrial	Oficina	9,46
B7	Oficina maestría de Ingeniería Industrial	Oficina	17,78
B8	Bodega maestría de Ingeniería Industrial	Bodega	9,33
B9	Aula de maestría de Ingeniería Industrial	Aula	24,69
B10	Oficina de profesores Ingeniería Industrial 1	Oficina	8,46
B11	Oficina de profesores Ingeniería Industrial 2	Oficina	8,17
B12	Oficina de profesores Ingeniería Industrial 3	Oficina	9
B13	Archivo de maestría de Ingeniería Industrial	Bodega	8,24
B14	Aula 232	Aula	56,1
B15	Aula 231	Aula	56,27
B16	Aseo	Mantenimiento	2,37
	Pasillos	Pasillos	93,45

**Cuadro A.3** Información de las áreas pertenecientes al piso 3

<b>Código</b>	<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
C1	Baño de mujeres	Baño	12,87
C2	Bodega	Bodega	4,25
C3	IDF-3	Mantenimiento	3,98
C4	Sala de estar de Ingeniería Química	Aula cómputo	13,96
C5	LAINII 1	Aula cómputo	48,51
C6	Sala de estar de Ingeniería Química	Habitables	16,93
C7	Sala de paneles	Habitables	17,54
C8	Comedor de Ingeniería Industrial	Habitables	15,23
C9	LAINII 2	Aula cómputo	42,69
C10	Oficina de computación de Ingeniería Industrial	Oficina	6,51
C11	Asociación de Ingeniería Industrial	Habitables	26,53
C12	Aula robótica	Aula	43,16
C13	Laboratorio de robótica	Aula	15,16
C14	Bodega de robótica	Bodega	15,42
C15	Asociación de estudiantes Ingeniería Química	Habitables	13,17
C16	Laboratorio de cómputo de Ingeniería Agrícola	Aula cómputo	53,75
C17	Laboratorio de cómputo Ingeniería Topográfica	Aula cómputo	44,27
C18	Aseo	Mantenimiento	2,06
	Pasillos	Pasillos	108,69

**Cuadro A.4** Información de las áreas pertenecientes al piso 4

<b>Código</b>	<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
D1	Baño de hombres	Baño	7,16
D2	Baño de mujeres	Baño	6,57
D3	IDF-4	Mantenimiento	4,56
D4	Oficina 1 de Ingeniería Industrial	Oficina	17,39
D5	Oficina 2 de Ingeniería Industrial	Oficina	10,64
D6	Oficina 3 de Ingeniería Industrial	Oficina	13,40
D7	Archivo de Ingeniería Industrial	Bodega	13,14
D8	Dirección de Ingeniería Industrial	Oficina	9,76
D9	Sala reuniones de Ingeniería Mecánica	Oficina	21,07
D10	Oficina 2 de Ingeniería Mecánica	Oficina	13,08
D11	Oficina 1 de Ingeniería Mecánica	Oficina	13,53
D12	Comedor de Ingeniería Mecánica	Habitables	12,15
D13	Dirección de Ingeniería Mecánica	Oficina	11,56
D14	Oficina de profesores de Ingeniería Agrícola	Oficina	10,71
D15	Oficina 419	Oficina	4,78

**Cuadro A.4 (Continuación)** Información de las áreas pertenecientes al piso 4

<b>Código</b>	<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
D16	Oficina 418	Oficina	8,68
D17	Oficina 417	Oficina	7,53
D18	Oficina 416	Oficina	7,24
D19	Oficina 415	Oficina	6,67
D20	Oficina 414	Oficina	6,96
D21	Oficina 413	Oficina	6,79
D22	Oficina 412	Oficina	7,10
D23	Oficina 411	Oficina	7,97
D24	Oficina 410	Oficina	8,58
D25	Bodega Agrícola	Bodega	3,43
D26	Archivo Ingeniería Mecánica	Bodega	17,10
D27	Oficinas Profesores Ingeniería Industrial	Oficina	54,83
D28	Bodega 1 Ingeniería Mecánica	Bodega	6,73
D29	Bodega 2 Ingeniería Mecánica	Bodega	6,55
D30	Oficina 435	Oficina	6,49
D31	Sala reuniones Ingeniería Topográfica	Oficina	18,98
D32	Oficina 434	Oficina	9,64
D33	Aseo	Mantenimiento	2,37
	Pasillos	Pasillos	111,69

**Cuadro A.5** Información de las áreas pertenecientes al piso 5

<b>Código</b>	<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
E1	Baño Hombres	Baño	8,08
E2	Baño Mujeres	Baño	6,57
E3	IDF-5	Mantenimiento	4,56
E4	Archivo de Ingeniería Química	Oficina	9,75
E5	Oficina 524	Oficina	8,85
E6	Oficina 523	Oficina	7,92
E7	Oficina 522	Bodega	7,92
E8	Oficina 521	Oficina	7,87
E9	Sala de reuniones de Ingeniería Química	Oficina	9,92
E10	Oficina 527	Oficina	5,89
E11	Oficina 526	Oficina	8,53
E12	Oficina 3 de Ingeniería Química	Oficina	6,68
E13	Oficina 1 de Ingeniería Química	Oficina	9,21
E14	Dirección de Ingeniería Química	Oficina	11,33
E15	Oficina 3 de Ingeniería Química	Oficina	10,90
E16	Comedor de Ingeniería Química	Habitables	8,58

**Cuadro A.5 (Continuación)** Información de las áreas pertenecientes al piso 5

<b>Código</b>	<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
E17	Oficina Archivo Ingeniería Civil	Oficina	8,90
E18	Archivo de Ingeniería Civil	Bodega	16,41
E19	Bodega de Ingeniería Civil	Bodega	8,41
E20	Cocina de Ingeniería Civil	Habitables	3,90
E21	Oficina de cómputo de Ingeniería Civil	Oficina	1,99
E22	Oficina 3	Oficina	8,79
E23	Oficina 4	Oficina	6,38
E24	Oficina 5	Oficina	8,01
E25	Oficina 6	Oficina	7,18
E26	Oficina 7	Oficina	7,12
E27	Comedor de Ingeniería Civil	Oficina	8,38
E28	Oficina 9	Oficina	6,92
E29	CIEDES	Oficina	11,17
E33	Sala reuniones de Ingeniería Civil	Oficina	17,93
E30	Dirección de Ingeniería Civil	Oficina	15,80
E31	Oficina 1 de Ingeniería Civil	Oficina	10,85
E32	Oficina 2 de Ingeniería Civil	Oficina	24,60
E34	Oficina 534	Oficina	9,96
E35	Oficina 532	Oficina	15,43
E36	Oficina 529	Oficina	9,75
E37	Oficina 530	Oficina	6,15
E38	Oficina 531	Oficina	9,26
E39	Aseo	Mantenimiento	1,89
	Pasillos	Pasillo	144,06

**Cuadro A.6.** Información de las áreas pertenecientes al piso 6

<b>Código</b>	<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
F1	Bodega de Ingeniería Química	Bodega	19,58
F2	Conserjería	Habitable	27,90
F3	Laboratorio de cómputo de Ingeniería Química	Aula cómputo	3,65

**Cuadro A.7** Historial de facturación para el medidor principal con localización 7404551130

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Consumo energía (kW-h)</b>	<b>Demanda máxima (kW)</b>	<b>Factor carga (%)</b>	<b>Factor potencia (%)</b>	<b>Monto factura (€)</b>
2010	Enero	7 560	35,6	28,5	100	559.420,00

**Cuadro A.7 (Continuación)** Historial de facturación para el medidor principal con localización 7404551130

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Consumo energía (kW-h)</b>	<b>Demanda máxima (kW)</b>	<b>Factor carga (%)</b>	<b>Factor potencia (%)</b>	<b>Monto factura (C\$)</b>
2010	Febrero	11 920	44,8	34,6	100	815.520,00
2010	Marzo	12 800	48,8	37,6	100	874.435,00
2010	Abril	14 000	52,8	36,8	100	956.145,00
2010	Mayo	14 720	54	36,6	100	1.012.075,00
2010	Junio	15 400	51,6	41,4	100	1.029.760,00
2010	Julio	13 920	51,6	37,4	100	963.645,00
2010	Agosto	12 440	40,8	40,9	100	825.940,00
2010	Septiembre	14 240	49,6	39,81	100	964.695,00
2010	Octubre	15 000	50	41,6	100	1.004.625,00
2010	Noviembre	14 600	51,6	36,8	100	999.425,00
2010	Diciembre	10 600	44,4	32,09	100	771.570,00
2011	Enero	8 560	35,2	32,69	100	618.740,00
2011	Febrero	10 280	37,6	39,28	100	712.105,00
2011	Marzo	13 280	44,4	41,54	100	892.275,00
2011	Abril	12 600	56,8	28,88	100	883.995,00
2011	Mayo	15 560	53,6	40,32	100	1.044.905,00
2011	Junio	15 000	60,4	35,68	100	1.054.035,00
2011	Julio	12 800	50,8	36,2	100	894.615,00
2011	Agosto	12 720	49,2	34,75	100	880.660,00
2011	Septiembre	14 920	51,6	38,86	100	993.145,00
2011	Octubre	15 080	51,2	38,35	100	997.590,00
2011	Noviembre	13 600	47,6	39,68	100	908.965,00
2011	Diciembre	10 520	45,6	32,04	100	762.430,00
2012	Enero	9 600	32,4	39,82	100	635.880,00
2012	Febrero	11 640	36,4	42,98	100	751.705,00
2012	Marzo	14 240	45,6	41,97	100	926.185,00
2012	Abril	13 120	50,8	35,87	100	877.110,00
2012	Mayo	15 320	58,4	36,43	100	1.008.575,00
2012	Junio	15 120	54	37,63	100	972.835,00
2012	Julio	12 360	48,4	34,32	100	822.010,00
2012	Agosto	12 840	47,2	39,09	100	834.705,00
2012	Septiembre	14 400	50,8	38,1	100	922.605,00
2012	Octubre	13 600	48,8	40,04	100	885.510,00
2012	Noviembre	14 280	50	39,67	100	957.425,00
2012	Diciembre	10 400	45,2	29,96	100	755.270,00
2013	Enero	9 040	33,2	36,6	100	677.700,00

**Cuadro A.7 (Continuación)** Historial de facturación para el medidor principal con localización 7404551130

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Consumo energía (kW-h)</b>	<b>Demanda máxima (kW)</b>	<b>Factor carga (%)</b>	<b>Factor potencia (%)</b>	<b>Monto factura (€)</b>
2013	Febrero	10 760	37,6	37,26	100	810.385,00
2013	Marzo	12 160	50,8	34,39	100	977.405,00
2013	Abril	12 320	55,6	31,84	100	1.111.275,00
2013	Mayo	13 040	48	37,73	100	1.113.970,00
2013	Junio	14 080	51,6	35,53	100	1.200.685,00
2013	Julio	12 800	45,6	37,73	100	1.075.985,00
2013	Agosto	11 800	44,4	35,72	100	1.010.610,00
2013	Septiembre	14 680	48,8	40,43	100	1.203.340,00
2013	Octubre	13 640	49,6	39,51	100	1.004.075,00
2013	Noviembre	13 800	48	38,64	100	950.745,00
2013	Diciembre	10 080	44,8	32,33	100	756.295,00

**Cuadro A.8** Historial de facturación para el medidor secundario con localización 7404551125

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Consumo energía (kW-h)</b>	<b>Demanda máxima (kW)</b>	<b>Factor carga (%)</b>	<b>Factor potencia (%)</b>	<b>Monto factura (€)</b>
2010	Enero	46	-	-	-	3 585
2010	Febrero	54	-	-	-	4 310
2010	Marzo	49	-	-	-	3 890
2010	Abril	58	-	-	-	3 635
2010	Mayo	70	-	-	-	4 995
2010	Junio	80	-	-	-	5 750
2010	Julio	70	-	-	-	5 030
2010	Agosto	68	-	-	-	4 845
2010	Septiembre	68	-	-	-	4 885
2010	Octubre	76	-	-	-	5 470
2010	Noviembre	74	-	-	-	5 345
2010	Diciembre	78	-	-	-	5 630
2011	Enero	53	-	-	-	3 825
2011	Febrero	73	-	-	-	5 270
2011	Marzo	76	-	-	-	5 490
2011	Abril	60	-	-	-	4 175
2011	Mayo	54	-	-	-	3 685
2011	Junio	70	-	-	-	4 985
2011	Julio	71	-	-	-	5 690

**Cuadro A.8 (Continuación)** Historial de facturación para el medidor secundario con localización 7404551125

Año	Mes	Consumo energía (kW-h)	Demanda máxima (kW)	Factor carga (%)	Factor potencia (%)	Monto factura (€)
2011	Agosto	77	-	-	-	5 485
2011	Septiembre	75	-	-	-	4 710
2011	Octubre	79	-	-	-	5 590
2011	Noviembre	77	-	-	-	5 485
2011	Diciembre	56	-	-	-	3 990
2012	Enero	53	-	-	-	3 775
2012	Febrero	44	-	-	-	3 090
2012	Marzo	69	-	-	-	4 910
2012	Abril	73	-	-	-	5 110
2012	Mayo	83	-	-	-	5 660
2012	Junio	76	-	-	-	5 185
2012	Julio	72	-	-	-	4 915
2012	Agosto	71	-	-	-	4 845
2012	Septiembre	108	-	-	-	7 495
2012	Octubre	101	-	-	-	6 965
2012	Noviembre	154	-	-	-	11 090
2012	Diciembre	70	-	-	-	4 985
2013	Enero	56	-	-	-	4 220
2013	Febrero	58	-	-	-	4 655
2013	Marzo	49	-	-	-	3 935
2013	Abril	70	-	-	-	5 860
2013	Mayo	109	-	-	-	10 005
2013	Junio	80	-	-	-	7 220
2013	Julio	105	-	-	-	9 635
2013	Agosto	64	-	-	-	5 775
2013	Septiembre	105	-	-	-	9 595
2013	Octubre	84	-	-	-	7 065
2013	Noviembre	81	-	-	-	6 070
2013	Diciembre	64	-	-	-	4 685

**Cuadro A.9** Datos de potencia y consumo de energía recolectados por el medidor Fluke 435 para el período de baja ocupación.

Día	Fecha	Hora	PA min (kW)	PA med (kW)	PA max (kW)	Consumo energía (kW-h)
Lunes	17/02/2014	07:11:58	10,88	11,56	13,10	2,89

**Cuadro A.9 (Continuación)** Datos de potencia y consumo de energía recolectados por el medidor Fluke 435 para el período de baja ocupación.

<b>Día</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>PA min (kW)</b>	<b>PA med (kW)</b>	<b>PA max (kW)</b>	<b>Consumo energía (kW-h)</b>
Lunes	17/02/2014	07:26:58	11,48	12,15	14,76	3,04
Lunes	17/02/2014	07:41:58	12,33	14,24	17,41	3,56
Lunes	17/02/2014	07:56:58	14,44	15,26	19,75	3,82
Lunes	17/02/2014	08:11:58	15,50	17,02	20,75	4,26
Lunes	17/02/2014	08:26:58	18,34	21,20	25,89	5,30
Lunes	17/02/2014	08:41:58	19,19	20,40	23,06	5,10
Lunes	17/02/2014	08:56:58	19,61	21,30	26,97	5,33
Lunes	17/02/2014	09:11:58	20,03	21,24	24,73	5,31
Lunes	17/02/2014	09:26:58	20,62	22,24	25,16	5,56
Lunes	17/02/2014	09:41:58	21,94	23,86	28,19	5,97
Lunes	17/02/2014	09:56:58	22,44	23,74	29,05	5,94
Lunes	17/02/2014	10:11:58	23,92	25,04	29,92	6,26
Lunes	17/02/2014	10:26:58	24,17	25,01	29,46	6,25
Lunes	17/02/2014	10:41:58	24,19	25,26	31,87	6,32
Lunes	17/02/2014	10:56:58	22,72	25,11	30,39	6,28
Lunes	17/02/2014	11:11:58	22,39	23,72	29,55	5,93
Lunes	17/02/2014	11:26:58	22,56	24,67	30,33	6,17
Lunes	17/02/2014	11:41:58	23,42	24,42	30,80	6,11
Lunes	17/02/2014	11:56:58	23,15	23,97	26,49	5,99
Lunes	17/02/2014	12:11:58	20,70	24,29	29,66	6,07
Lunes	17/02/2014	12:26:58	19,54	21,35	24,97	5,34
Lunes	17/02/2014	12:41:58	19,13	19,96	22,88	4,99
Lunes	17/02/2014	12:56:58	19,11	20,39	25,12	5,10
Lunes	17/02/2014	13:11:58	19,79	22,95	35,65	5,74
Lunes	17/02/2014	13:26:58	26,10	27,45	32,23	6,86
Lunes	17/02/2014	13:41:58	28,22	29,15	32,65	7,29
Lunes	17/02/2014	13:56:58	25,46	28,90	33,39	7,23
Lunes	17/02/2014	14:11:58	25,13	26,60	42,76	6,65
Lunes	17/02/2014	14:26:58	27,22	29,89	33,42	7,47
Lunes	17/02/2014	14:41:58	26,31	27,85	32,69	6,96
Lunes	17/02/2014	14:56:58	25,70	27,20	31,61	6,80
Lunes	17/02/2014	15:11:58	25,49	27,10	30,08	6,78
Lunes	17/02/2014	15:26:58	25,47	26,89	30,76	6,72
Lunes	17/02/2014	15:41:58	26,22	27,16	29,83	6,79
Lunes	17/02/2014	15:56:58	24,69	26,21	30,57	6,55
Lunes	17/02/2014	16:11:58	24,25	25,31	28,17	6,33
Lunes	17/02/2014	16:26:58	23,13	24,60	27,84	6,15

**Cuadro A.9 (Continuación)** Datos de potencia y consumo de energía recolectados por el medidor Fluke 435 para el período de baja ocupación.

Día	Fecha	Hora	PA min (kW)	PA med (kW)	PA max (kW)	Consumo energía (kW-h)
Lunes	17/02/2014	16:41:58	23,42	25,29	28,64	6,32
Lunes	17/02/2014	16:56:58	20,59	22,66	26,08	5,67

Debido a la gran cantidad de se muestran solo los datos del día lunes en horario laboral de 7:00 a 17:00. Los demás datos se pueden encontrar en el archivo de Excel adjunto denominado *Datos de potencia.xls*. Así mismo se pueden encontrar otros parámetros medidos por el equipo como voltaje, amperaje y armónicos de resonancia en el archivo *Datos de potencia para el período de baja ocupación.fpq*

**Cuadro A.10** Datos de potencia y consumo de energía recolectados por el medidor Fluke 435 para el período de alta ocupación.

Día	Fecha	Hora	PA min (kW)	PA med (kW)	PA max (kW)	Consumo energía (kW-h)
Lunes	07/04/2014	16:33:59	41,49	46,03	62,32	11,51
Lunes	07/04/2014	15:03:59	44,77	50,55	62,04	12,64
Lunes	07/04/2014	16:18:59	40,29	46,13	61,95	11,53
Lunes	07/04/2014	16:48:59	42,15	45,33	61,60	11,33
Lunes	07/04/2014	15:48:59	40,90	45,19	59,19	11,30
Lunes	07/04/2014	14:03:59	37,47	43,22	58,72	10,80
Lunes	07/04/2014	16:03:59	39,82	43,31	58,64	10,83
Lunes	07/04/2014	14:18:59	47,91	50,32	57,83	12,58
Lunes	07/04/2014	14:33:59	42,88	47,11	54,21	11,78
Lunes	07/04/2014	15:18:59	39,63	43,67	53,97	10,92
Lunes	07/04/2014	14:48:59	42,99	46,56	52,58	11,64
Lunes	07/04/2014	15:33:59	42,87	45,81	51,80	11,45
Lunes	07/04/2014	10:48:59	29,28	31,50	48,14	7,88
Lunes	07/04/2014	13:48:59	34,30	37,31	45,43	9,33
Lunes	07/04/2014	13:18:59	25,20	34,02	43,78	8,50
Lunes	07/04/2014	12:03:59	32,56	34,80	41,74	8,70
Lunes	07/04/2014	13:33:59	33,15	36,62	41,34	9,16
Lunes	07/04/2014	12:18:59	29,62	35,14	41,22	8,79
Lunes	07/04/2014	11:03:59	33,08	34,99	40,37	8,75
Lunes	07/04/2014	11:18:59	31,68	33,83	38,59	8,46
Lunes	07/04/2014	11:48:59	31,84	34,33	38,51	8,58

**Cuadro A.10 (Continuación)** Datos de potencia y consumo de energía recolectados por el medidor Fluke 435 para el período de alta ocupación.

Día	Fecha	Hora	PA min (kW)	PA med (kW)	PA max (kW)	Consumo energía (kW-h)
Lunes	07/04/2014	12:33:59	28,87	32,39	38,35	8,10
Lunes	07/04/2014	11:33:59	31,77	34,37	38,08	8,59
Lunes	07/04/2014	12:48:59	24,93	28,92	37,41	7,23
Lunes	07/04/2014	09:48:59	23,83	25,73	37,38	6,43
Lunes	07/04/2014	13:03:59	23,37	26,82	33,64	6,71
Lunes	07/04/2014	10:03:59	25,90	27,95	33,29	6,99
Lunes	07/04/2014	10:33:59	27,33	28,89	33,29	7,22
Lunes	07/04/2014	10:18:59	26,85	28,34	32,98	7,09
Lunes	07/04/2014	09:18:59	20,41	22,59	32,47	5,65
Lunes	07/04/2014	09:03:59	19,25	20,84	31,61	5,21
Lunes	07/04/2014	08:48:59	19,02	21,18	30,06	5,29
Lunes	07/04/2014	09:33:59	22,42	24,30	28,22	6,08
Lunes	07/04/2014	08:03:59	14,97	16,26	28,16	4,07
Lunes	07/04/2014	08:33:59	18,13	20,86	26,41	5,22
Lunes	07/04/2014	08:18:59	17,91	20,53	24,01	5,13
Lunes	07/04/2014	07:48:59	14,40	15,37	17,58	3,84
Lunes	07/04/2014	07:33:59	12,62	13,83	16,28	3,46
Lunes	07/04/2014	07:18:59	12,69	14,01	15,63	3,50
Lunes	07/04/2014	07:03:59	11,46	12,86	15,53	3,21

Debido a la gran cantidad de se muestran solo los datos del día lunes en horario laboral de 7:00 a 17:00. Los demás datos se pueden encontrar en el archivo de Excel adjunto denominado *Datos de potencia.xls*, así mismo se pueden encontrar otros parámetros medidos por el equipo como voltaje, amperaje y armónicos de resonancia en el archivo *Datos de potencia para el período de alta ocupación.fpq*.

**Cuadro A.11** Datos de temperaturas recolectados por los equipos Hobos

Día	Fecha	Hora	Temperatura °C			
			Ambiente	C5	C9	C17
Lunes	25/09/2013	7:05:37	19,32	22,80	19,70	23,04
Lunes	25/09/2013	7:20:37	19,75	23,02	19,84	23,09
Lunes	25/09/2013	7:35:37	19,94	23,33	20,01	23,14
Lunes	25/09/2013	7:50:37	20,08	23,55	20,15	23,21
Lunes	25/09/2013	8:05:37	20,22	23,74	20,41	23,26

**Cuadro A.11 (Continuación)** Datos de temperaturas recolectados por los equipos Hobos

Día	Fecha	Hora	Temperatura °C			
			Ambiente	C5	C9	C17
Lunes	25/09/2013	8:20:37	20,48	24,05	20,89	23,33
Lunes	25/09/2013	8:35:37	20,84	24,15	21,22	23,42
Lunes	25/09/2013	8:50:37	20,96	24,12	21,34	23,62
Lunes	25/09/2013	9:05:37	21,58	24,36	21,56	23,83
Lunes	25/09/2013	9:20:37	21,89	24,39	21,65	23,76
Lunes	25/09/2013	9:35:37	22,06	24,34	21,80	23,71
Lunes	25/09/2013	9:50:37	22,08	24,48	21,84	23,71
Lunes	25/09/2013	10:05:37	22,49	22,87	21,68	23,79
Lunes	25/09/2013	10:20:37	22,80	22,61	21,75	23,86
Lunes	25/09/2013	10:35:37	23,11	23,30	21,94	23,95
Lunes	25/09/2013	10:50:37	23,14	22,78	21,75	24,00
Lunes	25/09/2013	11:05:37	23,04	23,28	21,72	24,00
Lunes	25/09/2013	11:20:37	23,09	22,51	21,72	24,05
Lunes	25/09/2013	11:35:37	23,57	23,67	21,77	24,12
Lunes	25/09/2013	11:50:37	23,98	23,86	21,68	24,20
Lunes	25/09/2013	12:05:37	24,36	24,20	21,63	24,32
Lunes	25/09/2013	12:20:37	24,75	24,51	21,58	24,44
Lunes	25/09/2013	12:35:37	24,51	24,65	21,58	24,53
Lunes	25/09/2013	12:50:37	24,20	24,73	21,68	24,56
Lunes	25/09/2013	13:05:37	23,35	24,73	21,68	24,51
Lunes	25/09/2013	13:20:37	23,06	24,70	21,70	24,48
Lunes	25/09/2013	13:35:37	23,62	24,75	21,70	24,53
Lunes	25/09/2013	13:50:37	24,27	24,82	21,75	22,97
Lunes	25/09/2013	14:05:37	24,07	24,77	21,75	21,68
Lunes	25/09/2013	14:20:37	23,93	24,77	21,72	21,89
Lunes	25/09/2013	14:35:37	23,59	24,75	21,70	21,82
Lunes	25/09/2013	14:50:37	23,04	24,65	21,65	22,03
Lunes	25/09/2013	15:05:37	22,85	24,51	21,60	22,11
Lunes	25/09/2013	15:20:37	22,71	24,44	21,53	22,08
Lunes	25/09/2013	15:35:37	22,35	24,39	21,51	22,06
Lunes	25/09/2013	15:50:37	22,92	24,41	21,46	21,41
Lunes	25/09/2013	16:05:37	23,30	24,44	21,46	21,60
Lunes	25/09/2013	16:20:37	22,78	24,41	21,39	22,94
Lunes	25/09/2013	16:35:37	22,49	24,41	21,32	23,40
Lunes	25/09/2013	16:50:37	22,32	24,41	21,25	23,57

Debido a la gran cantidad de se muestran solo los datos del día lunes en horario laboral de 7:00 a 17:00. Los demás datos se pueden encontrar en el archivo de Excel adjunto denominado *Datos recopilados por Hobos.xls*.

**Cuadro A.12** Datos de humedad relativa recolectados por los equipos Hobos.

Día	Fecha	Hora	Humedad Relativa (%)			
			Ambiente	C5	C9	C17
Lunes	25/09/2013	7:05:37	83,19	69,35	68,28	68,32
Lunes	25/09/2013	7:20:37	81,16	68,94	69,13	68,21
Lunes	25/09/2013	7:35:37	80,47	68,44	69,10	68,13
Lunes	25/09/2013	7:50:37	80,76	67,91	68,57	68,03
Lunes	25/09/2013	8:05:37	79,32	67,25	70,24	67,89
Lunes	25/09/2013	8:20:37	77,62	66,53	68,88	67,72
Lunes	25/09/2013	8:35:37	77,24	66,15	71,21	67,53
Lunes	25/09/2013	8:50:37	76,97	65,97	70,50	67,56
Lunes	25/09/2013	9:05:37	75,89	65,92	69,74	67,75
Lunes	25/09/2013	9:20:37	74,60	65,86	72,87	67,77
Lunes	25/09/2013	9:35:37	74,37	66,55	71,52	67,76
Lunes	25/09/2013	9:50:37	75,27	67,87	69,47	67,94
Lunes	25/09/2013	10:05:37	73,73	55,39	66,89	67,71
Lunes	25/09/2013	10:20:37	72,53	60,50	67,38	67,69
Lunes	25/09/2013	10:35:37	71,06	57,69	68,63	67,68
Lunes	25/09/2013	10:50:37	71,39	62,17	68,45	67,66
Lunes	25/09/2013	11:05:37	72,31	57,22	70,92	67,72
Lunes	25/09/2013	11:20:37	71,41	58,95	70,27	67,70
Lunes	25/09/2013	11:35:37	70,35	62,01	68,54	67,59
Lunes	25/09/2013	11:50:37	70,54	64,11	69,38	67,54
Lunes	25/09/2013	12:05:37	68,29	65,92	66,29	67,54
Lunes	25/09/2013	12:20:37	67,46	66,61	66,78	67,44
Lunes	25/09/2013	12:35:37	68,65	67,48	66,78	67,42
Lunes	25/09/2013	12:50:37	73,09	67,70	69,85	67,58
Lunes	25/09/2013	13:05:37	76,42	68,51	71,26	67,93
Lunes	25/09/2013	13:20:37	76,22	69,40	71,41	68,28
Lunes	25/09/2013	13:35:37	74,04	69,68	71,59	68,98
Lunes	25/09/2013	13:50:37	72,46	70,20	71,45	56,71
Lunes	25/09/2013	14:05:37	71,30	70,48	72,36	66,89
Lunes	25/09/2013	14:20:37	71,25	70,66	72,33	72,12
Lunes	25/09/2013	14:35:37	71,68	71,19	72,12	69,97
Lunes	25/09/2013	14:50:37	73,43	71,65	71,82	75,73

**Cuadro A.12 (Continuación)** Datos de humedad relativa recolectados por los equipos Hobos.

Día	Fecha	Hora	Humedad Relativa (%)			
			Ambiente	C5	C9	C17
Lunes	25/09/2013	15:05:37	75,77	72,51	71,78	76,26
Lunes	25/09/2013	15:20:37	79,82	73,32	72,29	75,71
Lunes	25/09/2013	15:35:37	82,43	74,57	73,07	73,91
Lunes	25/09/2013	15:50:37	82,05	75,07	73,59	65,65
Lunes	25/09/2013	16:05:37	79,35	74,98	73,47	72,83
Lunes	25/09/2013	16:20:37	80,49	74,60	72,32	79,96
Lunes	25/09/2013	16:35:37	81,79	74,95	72,13	77,47
Lunes	25/09/2013	16:50:37	82,65	75,01	72,18	78,66

Debido a la gran cantidad de datos se muestran solo los datos del día lunes en horario laboral de 7:00 a 17:00. Los demás datos se pueden encontrar en el archivo de Excel adjunto denominado *Datos recopilados por Hobos.xls*.

**Cuadro A.13** Datos de intensidad luminosa recolectados por los equipos Hobos.

Día	Fecha	Hora	Intensidad luminosa (lux)			
			Ambiente	C5	C9	C17
Lunes	25/11/2013	7:05:37	122,20	82,80	27,60	232,60
Lunes	25/11/2013	7:20:37	130,10	98,50	43,40	240,50
Lunes	25/11/2013	7:35:37	130,10	74,90	43,40	240,50
Lunes	25/11/2013	7:50:37	130,10	82,80	67,00	256,20
Lunes	25/11/2013	8:05:37	138,00	98,50	82,80	279,90
Lunes	25/11/2013	8:20:37	130,10	82,80	82,80	287,80
Lunes	25/11/2013	8:35:37	114,30	59,10	51,20	256,20
Lunes	25/11/2013	8:50:37	145,80	74,90	106,40	279,90
Lunes	25/11/2013	9:05:37	279,90	59,10	67,00	98,50
Lunes	25/11/2013	9:20:37	382,40	51,20	51,20	106,40
Lunes	25/11/2013	9:35:37	350,80	51,20	59,10	114,30
Lunes	25/11/2013	9:50:37	216,80	51,20	67,00	153,70
Lunes	25/11/2013	10:05:37	382,40	59,10	59,10	106,40
Lunes	25/11/2013	10:20:37	461,20	51,20	74,90	114,30
Lunes	25/11/2013	10:35:37	342,90	51,20	67,00	169,50
Lunes	25/11/2013	10:50:37	342,90	51,20	43,40	114,30
Lunes	25/11/2013	11:05:37	666,20	51,20	67,00	145,80
Lunes	25/11/2013	11:20:37	437,50	51,20	51,20	216,80
Lunes	25/11/2013	11:35:37	469,10	59,10	74,90	224,70

**Cuadro A.13 (Continuación)** Datos de intensidad luminosa recolectados por los equipos Hobos.

Día	Fecha	Hora	Intensidad luminosa (lux)			
			Ambiente	C5	C9	C17
Lunes	25/11/2013	11:50:37	800,20	67,00	67,00	224,70
Lunes	25/11/2013	12:05:37	989,40	74,90	67,00	193,20
Lunes	25/11/2013	12:20:37	642,50	59,10	59,10	185,30
Lunes	25/11/2013	12:35:37	808,10	59,10	43,40	177,40
Lunes	25/11/2013	12:50:37	547,90	43,40	35,50	130,10
Lunes	25/11/2013	13:05:37	681,90	51,20	35,50	145,80
Lunes	25/11/2013	13:20:37	689,80	51,20	27,60	145,80
Lunes	25/11/2013	13:35:37	2574,00	90,70	59,10	169,50
Lunes	25/11/2013	13:50:37	1856,60	43,40	43,40	161,60
Lunes	25/11/2013	14:05:37	768,70	27,60	35,50	122,20
Lunes	25/11/2013	14:20:37	737,10	27,60	27,60	114,30
Lunes	25/11/2013	14:35:37	145,80	19,70	19,70	27,60
Lunes	25/11/2013	14:50:37	35,50	19,70	11,80	19,70
Lunes	25/11/2013	15:05:37	98,50	27,60	11,80	19,70
Lunes	25/11/2013	15:20:37	130,10	27,60	11,80	51,20
Lunes	25/11/2013	15:35:37	398,10	27,60	19,70	114,30
Lunes	25/11/2013	15:50:37	3023,40	51,20	27,60	327,20
Lunes	25/11/2013	16:05:37	114,30	27,60	11,80	216,80
Lunes	25/11/2013	16:20:37	43,40	19,70	11,80	27,60
Lunes	25/11/2013	16:35:37	27,60	19,70	11,80	19,70
Lunes	25/11/2013	16:50:37	19,70	19,70	11,80	19,70

Debido a la gran cantidad de se muestran solo los datos del día lunes en horario laboral de 7:00 a 17:00. Los demás datos se pueden encontrar en el archivo de Excel adjunto denominado *Datos recopilados por Hobos.xls*.

**Cuadro A.14** Inventario del equipo eléctrico.

Cantidad	Equipo	Código de área	Horas de uso diario	Consumo diario (kw-h)	Potencia total (kW)
1	Monitor CRT	B4	2	0,01	0,085
1	CPU	B4	2	0,16	0,08
24	Fluorescentes tubulares	B4	4	2,784	0,696
18	Fluorescentes tubulares	B4	4	2,592	0,648
6	Fluorescentes tubulares	B4	4	1,152	0,288
1	Conductor térmico	B4	2	1,4	0,7

**Cuadro A.14 (Continuación)** Inventario del equipo eléctrico.

<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Código de área</b>	<b>Horas de uso diario</b>	<b>Consumo diario (kw-h)</b>	<b>Potencia total (kW)</b>
1	Chiller	B4	2	1	0,5
1	Intercambiador de calor	B4	2	5	2,5
1	Bomba	B4	2	3,726	1,863
3	Monitor LCD	C17	6	0,306	0,051
3	Monitor LCD	C17	6	0,306	0,051
2	Monitor LCD	C17	6	0,3	0,05
1	Monitor LCD	C17	6	0,102	0,017
11	CPU	C17	6	5,28	0,88
24	Fluorescentes tubulares	C17	6	4,08	0,68
2	CPU	C17	6	0,96	0,16
9	CPU	C17	6	4,32	0,72
1	Aire acondicionado	C17	3	17,637	5,879
1	Proyector	C17	6	1,02	0,17
2	CPU	C17	6	0,96	0,16
10	Monitor LCD	C17	6	1,02	0,17
2	Monitor LCD	C17	6	0,204	0,034
2	Monitor LCD	C17	6	0,204	0,034
1	Monitor CRT	C17	6	0,51	0,085
4	Monitor LCD	C5	4	0,272	0,068
5	Monitor LCD	C5	4	0,34	0,085
1	Monitor LCD	C5	4	0,068	0,017
1	Monitor LCD	C5	4	0,068	0,017
10	CPU	C5	4	3,2	0,8
10	Fluorescentes tubulares	C5	4	1,44	0,36
8	Fluorescentes tubulares	C5	4	0,928	0,232
2	Fluorescentes tubulares	C5	4	0,384	0,096
4	Fluorescentes tubulares	C5	4	0,768	0,192
13	Monitor LCD	C5	4	0,884	0,221
1	Monitor LCD	C5	4	0,068	0,017
9	CPU	C5	4	2,88	0,72
3	CPU	C5	4	0,96	0,24
3	CPU	C5	4	0,96	0,24
1	Proyector	C5	3	0,75	0,25
1	Aire acondicionado	C5	3	14,52	4,84
1	Proyector	C9	5	1,52	0,304
1	Aire acondicionado	C9	3	14,64	4,88
22	Monitor LCD	C9	5	1,87	0,374

**Cuadro A.14 (Continuación)** Inventario del equipo eléctrico.

<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Código de área</b>	<b>Horas de uso diario</b>	<b>Consumo diario (kw-h)</b>	<b>Potencia total (kW)l</b>
4	Monitor LCD	C9	5	0,34	0,068
27	Fluorescentes tubulares	C9	5	3,825	0,765

Debido a la gran cantidad de equipo inventariado se muestran solo los datos de las áreas de máxima demanda mencionadas en la Sección 6.4 Los demás datos se pueden encontrar en el archivo de Excel adjunto denominado *Inventario del equipo eléctrico.xls*.

## B. Resultados intermedios

**Cuadro B.1** Cálculo del ángulo de incidencia para las diferentes horas, según la ventana

Hora solar	H	$\beta$	$\Phi$	$\gamma_s$	$\gamma_o$	$\Theta_s$	$\Theta_o$
	Grados						
1	-165	-64,11	-35,50	-35,50	-125,50	69,18	104,69
2	-150	-53,43	-55,30	-55,30	-145,30	70,17	119,33
3	-135	-40,52	-65,66	-65,66	-155,66	71,74	133,84
4	-120	-26,72	-71,76	-71,76	-161,76	73,76	148,03
5	-105	-12,51	-75,74	-75,74	-165,74	76,09	161,12
6	-90	1,91	-78,56	-78,56	-168,56	78,56	168,40
7	-75	16,46	-80,63	-80,63	-170,63	81,01	161,12
8	-60	31,09	-82,15	-82,15	-172,15	83,28	148,03
9	-45	45,76	-83,15	-83,15	-173,15	85,22	133,84
10	-30	60,45	-83,32	-83,32	-173,32	86,71	119,33
11	-15	75,12	-80,78	-80,78	-170,78	87,64	104,69
12	0	87,96	0,00	0,00	-90,00	87,96	90,00
13	15	75,12	80,78	80,78	-9,22	87,64	75,31
14	30	60,45	83,32	83,32	-6,68	86,71	60,67
15	45	45,76	83,15	83,15	-6,85	85,22	46,16
16	60	31,09	82,15	82,15	-7,85	83,28	31,97
17	75	16,46	80,63	80,63	-9,37	81,01	18,88
18	90	1,91	78,56	78,56	-11,44	78,56	11,60
19	105	-12,51	75,74	75,74	-14,26	76,09	18,88
20	120	-26,72	71,76	71,76	-18,24	73,76	31,97
21	135	-40,52	65,66	65,66	-24,34	71,74	46,16
22	150	-53,43	55,30	55,30	-34,70	70,17	60,67
23	165	-64,11	35,50	35,50	-54,50	69,18	75,31
24	180	-68,84	0,00	0,00	-90,00	68,84	90,00

**Cuadro B.2** Cálculo de las radiaciones normales directas, difusas y reflexivas según la hora

Hora solar	m (adim)	$E_b$ (Btu*h/ft <sup>2</sup> )	$E_d$ (Btu*h/ft <sup>2</sup> )	$E_r$ (Btu*h/ft <sup>2</sup> )
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	14,99	8,19	6,98	0,73

**Cuadro B.2 (Continuación)** Cálculo de las radiaciones normales directas, difusas y reflexivas según la hora

Hora solar	m (adim)	$E_b$ (Btu*h/ft <sup>2</sup> )	$E_d$ (Btu*h/ft <sup>2</sup> )	$E_r$ (Btu*h/ft <sup>2</sup> )
7	3,45	109,48	31,47	6,25
8	1,93	175,40	48,50	13,91
9	1,39	211,56	59,74	21,13
10	1,15	232,04	67,00	26,89
11	1,03	242,71	71,09	30,57
12	1,00	246,03	72,42	31,83
13	1,03	242,71	71,09	30,57
14	1,15	232,04	67,00	26,89
15	1,39	211,56	59,74	21,13
16	1,93	175,40	48,50	13,91
17	3,45	109,48	31,47	6,25
18	14,99	8,19	6,98	0,73
19	-	-	-	-
20	-	-	-	-
21	-	-	-	-
22	-	-	-	-
23	-	-	-	-
24	-	-	-	-

**Cuadro B.3** Ganancia de calor por radiación directa presentada por hora para el vidrio claro

Hora solar	$E_b$ (Btu*h/ft <sup>2</sup> )	$\Theta_s$	$\Theta_o$	SGCHF ( $\Theta_s$ )	SGCHF ( $\Theta_o$ )	$q_{sb}$ (Btu/h)	$q_{ob}$ (Btu/h)
1	-	69,18	104,69	0,63	0,88	-	-
2	-	70,17	119,33	0,61	2,18	-	-
3	-	71,74	133,84	0,59	3,71	-	-
4	-	73,76	148,03	0,55	5,19	-	-
5	-	76,09	161,12	0,50	6,28	-	-
6	8,19	78,56	168,40	0,43	6,67	71,36	-
7	109,48	81,01	161,12	0,36	6,28	626,36	-
8	175,40	83,28	148,03	0,29	5,19	595,27	-
9	211,56	85,22	133,84	0,21	3,71	384,38	-
10	232,04	86,71	119,33	0,16	2,18	211,35	-
11	242,71	87,64	104,69	0,12	0,88	119,10	-
12	246,03	87,96	90,00	0,10	0,01	92,38	-

**Cuadro B.3 (Continuación)** Ganancia de calor por radiación directa presentada por hora para el vidrio claro

Hora solar	$E_b$ BTU*h/ft <sup>2</sup>	$\Theta_s$	$\Theta_o$	SGCHF (adim)	SGCHF (adim)	$q_{sb}$ (Btu/h)	$q_{ob}$ (Btu/h)
13	242,71	87,64	75,31	0,12	0,51	119,10	4 113,93
14	232,04	86,71	60,67	0,16	0,73	211,35	10 768,16
15	211,56	85,22	46,16	0,21	0,79	384,38	15 079,60
16	175,40	83,28	31,97	0,29	0,80	595,27	15 534,50
17	109,48	81,01	18,88	0,36	0,81	626,36	10 874,72
18	8,19	78,56	11,60	0,43	0,81	71,36	845,14
19	-	76,09	18,88	0,50	0,81	-	-
20	-	73,76	31,97	0,55	0,80	-	-
21	-	71,74	46,16	0,59	0,79	-	-
22	-	70,17	60,67	0,61	0,73	-	-
23	-	69,18	75,31	0,63	0,51	-	-
24	-	68,84	90,00	0,64	0,01	-	-

**Cuadro B.4** Ganancia de calor por radiación difusa presentada por hora para el vidrio claro

Hora solar	$E_d$ (Btu*h/ft <sup>2</sup> )	$E_r$ (Btu*h/ft <sup>2</sup> )	$Y_s$ (adim)	$Y_s$ (adim)	$q_{sd}$ (Btu/h)	$q_{od}$ (Btu/h)
1	-	-	0,74	0,46	-	-
2	-	-	0,73	0,41	-	-
3	-	-	0,72	0,40	-	-
4	-	-	0,70	0,40	-	-
5	-	-	0,67	0,42	-	-
6	6,98	0,73	0,65	0,42	391,30	349,43
7	31,47	6,25	0,63	0,42	1 930,58	1 841,00
8	48,50	13,91	0,61	0,40	3 219,46	3 187,48
9	59,74	21,13	0,59	0,40	4 188,90	4 266,91
10	67,00	26,89	0,58	0,41	4 872,73	5 174,56
11	71,09	30,57	0,57	0,46	5 281,94	6 010,83
12	72,42	31,83	0,57	0,55	5 418,20	6 813,10
13	71,09	30,57	0,57	0,68	5 281,94	7 508,61
14	67,00	26,89	0,58	0,84	4 872,73	7 901,33
15	59,74	21,13	0,59	1,00	4 188,90	7 705,67
16	48,50	13,91	0,61	1,15	3 219,46	6 606,19
17	31,47	6,25	0,63	1,24	1 930,58	4 315,20
18	6,98	0,73	0,65	1,28	391,30	917,98
19	-	-	0,67	1,24	-	-

**Cuadro B.4 (Continuación)** Ganancia de calor por radiación difusa presentada por hora para el vidrio claro

Hora solar	$E_d$ (Btu*h/ft <sup>2</sup> )	$E_r$ (Btu*h/ft <sup>2</sup> )	$Y_s$ (adim)	$Y_s$ (adim)	$q_{sd}$ (Btu/h)	$q_{od}$ (Btu/h)
20	-	-	0,70	1,15	-	-
21	-	-	0,72	1,00	-	-
22	-	-	0,73	0,84	-	-
23	-	-	0,74	0,68	-	-
24	-	-	0,75	0,55	-	-

**Cuadro B.5** Ganancia de calor total por hora utilizando vidrios claros

Hora solar	$q_s$ (Btu*h)	$q_o$ (Btu/h)	$q_t$ (Btu/h)
1	-	-	-
2	-	-	-
3	-	-	-
4	-	-	-
5	-	-	-
6	462,66	349,43	812,09
7	2 556,95	1 841,00	4 397,95
8	3 814,74	3 187,48	7 002,22
9	4 573,28	4 266,91	8 840,19
10	5 084,08	5 174,56	10 258,64
11	5 401,04	6 010,83	11 411,87
12	5 510,58	6 813,10	12 323,68
13	5 401,04	11 622,54	17 023,57
14	5 084,08	18 669,49	23 753,57
15	4 573,28	22 785,27	27 358,55
16	3 814,74	22 140,69	25 955,42
17	2 556,95	15 189,92	17 746,87
18	462,66	1 763,12	2 225,78
19	-	-	-
20	-	-	-
21	-	-	-
22	-	-	-
23	-	-	-
24	-	-	-

**Cuadro B.6** Ganancia de calor por radiación directa presentada por hora para el vidrio reflexivo

Hora solar	$E_b$ BTU*h/ft <sup>2</sup>	$\Theta_s$	$\Theta_o$	SGCHF (adim)	SGCHF (adim)	$q_{sb}$ (Btu/h)	$q_{ob}$ (Btu/h)
1	-	69,18	104,69	0,20	0,26	-	-
2	-	70,17	119,33	0,20	0,67	-	-
3	-	71,74	133,84	0,19	1,16	-	-
4	-	73,76	148,03	0,18	1,64	-	-
5	-	76,09	161,12	0,16	1,98	-	-
6	8,19	78,56	168,40	0,14	2,11	23,63	-
7	109,48	81,01	161,12	0,12	1,98	211,16	-
8	175,40	83,28	148,03	0,10	1,64	205,98	-
9	211,56	85,22	133,84	0,08	1,16	138,25	-
10	232,04	86,71	119,33	0,06	0,67	80,29	-
11	242,71	87,64	104,69	0,05	0,26	48,14	-
12	246,03	87,96	90,00	0,04	0,02	38,51	-
13	242,71	87,64	75,31	0,05	0,17	48,14	1 341,30
14	232,04	86,71	60,67	0,06	0,23	80,29	3 393,79
15	211,56	85,22	46,16	0,08	0,25	138,25	4 681,81
16	175,40	83,28	31,97	0,10	0,25	205,98	4 795,64
17	109,48	81,01	18,88	0,12	0,25	211,16	3 356,56
18	8,19	78,56	11,60	0,14	0,25	23,63	261,04
19	-	76,09	18,88	0,16	0,25	-	-
20	-	73,76	31,97	0,18	0,25	-	-
21	-	71,74	46,16	0,19	0,25	-	-
22	-	70,17	60,67	0,20	0,23	-	-
23	-	69,18	75,31	0,20	0,17	-	-
24	-	68,84	90,00	0,20	0,02	-	-

**Cuadro B.7** Ganancia de calor por radiación difusa presentada por hora para el vidrio reflexivo

Hora solar	$E_d$ (Btu*h/ft <sup>2</sup> )	$E_r$ (Btu*h/ft <sup>2</sup> )	$Y_s$ (adim)	$Y_s$ (adim)	$q_{sd}$ (Btu/h)	$q_{od}$ (Btu/h)
1	-	-	0,74	0,46	-	-
2	-	-	0,73	0,41	-	-
3	-	-	0,72	0,40	-	-
4	-	-	0,70	0,40	-	-
5	-	-	0,67	0,42	-	-
6	6,98	0,70	0,65	0,42	123,29	110,09

**Cuadro B.7 (Continuación)** Ganancia de calor por radiación difusa presentada por hora para el vidrio reflexivo

Hora solar	$E_d$ (Btu*h/ft <sup>2</sup> )	$E_r$ (Btu*h/ft <sup>2</sup> )	$Y_s$ (adim)	$Y_s$ (adim)	$q_{sd}$ (Btu/h)	$q_{od}$ (Btu/h)
7	31,47	3,15	0,63	0,42	608,27	580,04
8	48,50	4,85	0,61	0,40	1014,35	1004,28
9	59,74	5,97	0,59	0,40	1 319,79	1 344,37
10	67,00	6,70	0,58	0,41	1 535,24	1 630,34
11	71,09	7,11	0,57	0,46	1 664,17	1 893,82
12	72,42	7,24	0,57	0,55	1 707,10	2 146,59
13	71,09	7,11	0,57	0,68	1 664,17	2 365,73
14	67,00	6,70	0,58	0,84	1 535,24	2 489,46
15	59,74	5,97	0,59	1,00	1 319,79	2 427,81
16	48,50	4,85	0,61	1,15	1 014,35	2 081,40
17	31,47	3,15	0,63	1,24	608,27	1 359,58
18	6,98	0,70	0,65	1,28	123,29	289,23
19	-	-	0,67	1,24	-	-
20	-	-	0,70	1,15	-	-
21	-	-	0,72	1,00	-	-
22	-	-	0,73	0,84	-	-
23	-	-	0,74	0,68	-	-
24	-	-	0,75	0,55	-	-

**Cuadro B.8** Ganancia de calor total por radiación utilizando vidrios con polarizados reflexivos

Hora solar	$q_s$ (Btu*h)	$q_o$ (Btu*h)	$q_t$ (Btu*h)
1	-	-	-
2	-	-	-
3	-	-	-
4	-	-	-
5	-	-	-
6	146,92	110,09	257,01
7	819,42	580,04	1 399,47
8	1 220,33	1 004,28	2 224,61
9	1 458,04	1 344,37	2 802,41
10	1 615,54	1 630,34	3 245,88
11	1 712,31	1 893,82	3 606,14
12	1 745,62	2 146,59	3 892,21

**Cuadro B.8 (Continuación)** Ganancia de calor total por radiación utilizando vidrios con polarizados reflexivos

<b>Hora solar</b>	<b>q<sub>s</sub> (Btu*h)</b>	<b>q<sub>o</sub> (Btu*h)</b>	<b>q<sub>t</sub> (Btu*h)</b>
13	1 712,31	3 707,03	5 419,34
14	1 615,54	5 883,25	7 498,79
15	1 458,04	7 109,62	8 567,66
16	1 220,33	6 877,04	8 097,37
17	819,42	4 716,14	5 535,57
18	146,92	550,26	697,18
19	-	-	-
20	-	-	-
21	-	-	-
22	-	-	-
23	-	-	-
24	-	-	-

## C. Muestra de cálculo

### C.1 Cálculo del EUI del edificio

Para calcular el índice de utilización de energía del edificio se utilizó la siguiente ecuación

$$EUI = \frac{\text{Energía total consumida en un año}}{\text{Área bruta del edificio}} \quad (\text{C.1})$$

Utilizando los datos del consumo de energía del Cuadro 6.4, fila 2, columna 2, y el área bruta del edificio de Cuadro 6.4, fila 2, y columna 4, se obtiene:

$$EUI = \frac{149125 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}}{2737,94 \text{ m}^2} = 54,56 \frac{\text{kWh}}{\text{año} * \text{m}^2}$$

Como se muestra en el Cuadro 6.4, fila 2, columna 5.

### C.2 Cálculo de la potencia reactiva de capacitores para compensación del factor de potencia.

Para calcular la potencia reactiva de los capacitores a utilizar se utiliza la fórmula

$$PR_c = PA[\tan(\cos^{-1} FP_d) - \tan(\cos^{-1} FP)] \quad (\text{C.2})$$

Utilizando los datos de potencia máxima del Cuadro 6.10 fila 1, columna 3 y los datos de factor de potencia del mismo cuadro columna 3, filas 4 y 5 se obtiene

$$PR_c = 62,36 \text{ kW} [\tan(\cos^{-1} 0,88) - \tan(\cos^{-1} 0,95)] = 13.15 \text{ kVAR}$$

Como se muestra en el Cuadro 6.10, fila 7, columna 3.

### C.3 Cálculo de las multas debido al bajo factor de potencia.

Para calcular las multas debido al bajo factor de potencia se utiliza la fórmula:

$$Multa FP = DM * MD * \left( \frac{0.9}{FP Real} - 1 \right) \quad (C.3)$$

Utilizando los datos de potencia máxima del Cuadro 6.9 fila 1, columna 2 y los datos de factor de potencia de la columna 2, filas 3. Utilizando el precio por demanda mostrado en el cuadro 6.1 fila 26, columna 3 se obtiene:

$$Multa FP = 62,36kW * 7 585 \frac{\text{€}}{\text{kW}} * \left( \frac{0.9}{0,88} - 1 \right) = 10 473\text{€}$$

Como se muestra en el Cuadro 6.11 fila 2, columna 2.

#### C.4 Cálculo del LPD

Para calcular la densidad de potencia utilizada en iluminación se utiliza la fórmula

$$LPD = \left( \frac{Potencia Total de los Arreglos de Iluminación * 1000}{Area de la zona} \right) \quad (C.4)$$

Utilizando los datos de potencia máxima del Cuadro 6.14 fila 1, columna 3 y los datos de área de la zona potencia fila 1, columna 2, se obtiene:

$$LPD = \left( \frac{0,88KW}{48,51 m^2} * \left( \frac{1000W}{1KW} \right) \right) = 18,14 \frac{W}{m^2}$$

Como se muestra en el Cuadro 6.14, fila 2, columna 6.

#### C.5 Cálculo del ahorro energético anual, AEA, para la OCE-I#1 y OCE-I#2

Para calcular el ahorro energético anual para estas OCEs se calcula el consumo ahorrado que se genera al estar el equipo apagado en los periodos de no ocupación, se utiliza la siguiente fórmula:

$$AEA = Horas * Días * Potencia total \quad (C.5)$$

Utilizando la cantidad de días del período del Cuadro 7.1, fila 2, columna 2, las horas de uso del Cuadro 7.1, fila 2, columna 3 y la potencia total de Cuadro 7.1, fila 2, columna 4, se obtiene:

$$AEA = 104 \text{ días} * 24 \frac{\text{h}}{\text{día}} * 6,73 \text{ kW} = 16\,798 \text{ kw} - \text{h}$$

Como se muestra en el Cuadro 7.1, fila 2, columna 4. Los cálculos se repiten para la OCE-II#2 como se muestra en el Cuadro 7.2

### **C.6 Cálculo del ahorro energético anual, AEA (%),**

Para calcular el ahorro energético anual (%) para todas las OCEs se utiliza la siguiente fórmula

$$AEA(\%) = \frac{AEA}{\text{Consumo total anual del edificio}} \quad (\text{C.6})$$

Utilizando el AEA del Cuadro 7.1, fila 2, columna 4, y el dato de consumo de energía total anual del Cuadro 6.4 fila 2, columna 3, se obtiene:

$$AEA(\%) = \frac{16\,798 \text{ kw} - \text{h}}{149\,125 \text{ kw} - \text{h}} * 100 = 11,26 \%$$

Como se muestra en el Cuadro 7.1, fila 2, columna 5. Se calcula de la misma manera el porcentaje para las demás OCEs

### **C.7 Cálculo del ahorro energético anual, AEA, para la OCE-II#1**

Para calcular el ahorro energético anual para esta OCE se calcula el ahorro generado a partir de la diferencia de potencia requerida entre la nueva tecnología y la que se encuentra actualmente.

$$AEA = \text{Cantidad} * \text{Horas} * \text{Días} * (\text{Potencia} - \text{Nueva potencia}) \quad (\text{C.7})$$

Utilizando 8 horas de uso diario, 250 días de trabajo anual, los datos de potencia del Cuadro 7.4 fila 2, columna 3, los datos de nueva potencia del Cuadro 7.4 fila 2, columna 4 y la cantidad de arreglos mostrados en el Cuadro 7.4 fila 2, columna 1, se obtiene:

$$AEA = 14 * 8 \frac{h}{\text{día}} * 250 \text{ días} * (112 - 18) W * \frac{1 \text{ kW}}{1000 W} = 2 \text{ 632 kw} - h$$

Como se muestra en el Cuadro 7.4, fila 2, columna 5. El procedimiento se repita para el Cuadro 7.5.

### **C.8 Cálculo del ahorro energético anual, AEA, para la OCE-II#2**

La literatura encontrada establece que se puede esperar una disminución de hasta un 30% en el consumo energético utilizando esta medida. Se calcula el ahorro utilizando la siguiente fórmula:

$$AEA = \text{Cantidad} * \text{Horas} * \text{Días} * \text{Potencia} * \text{Factor de ahorro} \quad (\text{C.8})$$

Utilizando 15 horas de uso diario, 250 días de trabajo anual, los datos de potencia del Cuadro 7.8 fila 2, columna 2, y un factor de ahorro de 30%, se obtiene:

$$AEA = 15 \frac{h}{\text{día}} * 250 \text{ días} * (7,73) \text{ kW} * 0,30 = 8 \text{ 235 kw} - h$$

Como se muestra en el Cuadro 7.8, fila 2, columna 5.

### **C.9 Cálculo del ahorro energético anual, AEA, para la OCE-II#3**

Para calcular el ahorro energético anual para esta OCE se calcula el ahorro generado anualmente por el ahorro horas de trabajo encontrado, se utiliza la siguiente fórmula:

$$AEA = \text{Horas} * \text{Días} * \text{Consumo energético en una hora} \quad (\text{C.9})$$

Utilizando las horas ahorradas del Cuadro 7.18, fila 2, columna 2, utilizando 250 días de trabajo anual y los datos de consumo energético para el equipo del Cuadro 7.17, fila 2, columna 4, se obtiene:

$$AEA = 1,93 \frac{\text{h}}{\text{día}} * 250 \text{ días} * (5,88) \text{ kW} = 2 836 \text{ kW} - \text{h}$$

Como se muestra en el Cuadro 7.18, fila 2, columna 5.

### **C.10 Cálculo del ángulo de hora solar, H.**

Para calcular el ángulo de hora solar se utiliza la fórmula conservación se utiliza la fórmula

$$H = 15(\text{Hora Solar} - 12) \quad (\text{C.10})$$

Utilizando los datos de hora solar del Cuadro B.1, fila 2, columna 1, se obtiene:

$$H = 15 (1 - 12) = -165$$

Utilizando los datos de hora solar del Cuadro B.1, fila 2, columna 2, el procedimiento se repite para las demás horas solares.

Como se muestra en el Cuadro B.1

### **C.11 Cálculo del ángulo de altitud solar, $\beta$ .**

Para calcular el ángulo de altitud solar se utiliza la fórmula conservación se utiliza la fórmula

$$\beta = \sin^{-1}(\cos L \cos \delta \cos H + \sin L \sin \delta) \quad (\text{C.11})$$

Utilizando el dato del ángulo de hora solar, H del Cuadro B.1, fila 2, columna 2, el ángulo de latitud del Cuadro 7.10, columna 2, fila 4, y el ángulo de inclinación solar del Cuadro 7.1 columna2, fila3, se obtiene

$$\beta = \sin^{-1}(\cos (9,56)\cos(11,60) \cos(-165) + \sin (9,56) \sin (11,60) = -64,11^\circ$$

Como se observa en el Cuadro B.1 columna3, fila2

### C.12 Cálculo del ángulo acimut $\Phi$ ,

Para calcular el ángulo de acimut se utiliza se utiliza la fórmula,

$$\Phi = \cos^{-1} \left( \frac{(\sin \beta \sin L - \sin \delta)}{(\cos \beta \cos L)} \right) \quad (\text{C.12})$$

Utilizando los datos del ángulo de altitud solar,  $\beta$ , solar del Cuadro B.1, fila 2, columna 3, el ángulo de latitud del Cuadro 7.10, columna 2 fila4, y el ángulo de inclinación solar del cuadro 7.1 columna2, fila3, se obtiene:

$$\Phi = \cos^{-1} \left( \frac{(\sin -64,11 \sin 9,56 - \sin 11,60)}{(\cos -64,11 \cos 9,56)} \right) = -35,50$$

Como se observa en el Cuadro B.1, columna 4, fila 2.

### C.13 Cálculo del ángulo acimut solar superficial $\gamma$ ,

Para calcular el ángulo de acimut solar superficial se utiliza la fórmula

$$\gamma = \Phi - \Psi \quad (\text{C.13})$$

Utilizando los datos del ángulo de acimut solar,  $\beta$ , solar del Cuadro B.1 fila 2, columna 4 y, el ángulo de latitud del cuadro 7.1 columna 2 fila 11, se obtiene:

$$\gamma_s = -35,5 - 0 = -35,5$$

Tal y como se muestra en el Cuadro B.1, columna 5, fila2. Se repite el mismo procedimiento para la ventana oeste con el ángulo de acimut superficial oeste mostrado en el Cuadro 7.1 columna 2 fila 12.

### C.14 Cálculo del ángulo de incidencia, $\Theta$

Para calcular el ángulo de incidencia se utiliza la fórmula conservación se utiliza la fórmula

$$\Theta = \cos^{-1}(\cos \beta \cos \gamma + \sin \beta) \quad (\text{C.14})$$

Utilizando los datos del ángulo de hora solar, H, del Cuadro B.1 fila 2, columna 2, el ángulo de latitud, L del Cuadro 7.1 columna 2 fila4, y el ángulo de inclinación solar del Cuadro 7.10, columna 2, fila 3, se obtiene

$$\Theta = \cos^{-1}(\cos (-64,11)\cos (-35,50) + \sin (-64,11))=-69,18^\circ$$

Como se observa en el cuadro B.1, columna7, fila 2

### C.15 Cálculo de la masa relativa del aire, m

Para calcular la masa relativa de aire se utiliza la fórmula

$$m = \frac{1}{\sin \beta + 0.50572(6.07995 + \beta)^{-1.6364}}, \quad (\text{C.15})$$

Utilizando los datos del ángulo de altitud solar,  $\beta$ , solar del Cuadro B.1, fila 15, columna 3, se obtiene:

$$m = \frac{1}{\sin 60,45 + 0.50572(6.07995 + 60,45^{-1.6364})} = 1,15$$

Como se observa en el Cuadro B.2 columna 2, fila 15.

### C.16 Cálculo de la radiación normal directa, $E_b$ .

Para calcular la radiación normal directa se utiliza la fórmula la fórmula

$$E_b = E_o e^{(-\tau_b * m^{ab})} \quad (\text{C.16})$$

Utilizando los datos de masa de aire relativa m, del Cuadro B.2, fila 2, columna 2, el dato de profundidad óptica,  $\tau_b$  del Cuadro 7.10, columna 2, fila 9, y la constante exponencial, ab

del Cuadro 7.10, columna 2, fila 13 y la radiación extraterrestre del Cuadro 7.10, columna 2, fila 3 se obtiene,

$$E_b = 429 \frac{\text{Btu}}{\text{h} * \text{ft}^2} * e^{(-0,556 * 1,15^{0,725})} = 232,04 \frac{\text{Btu}}{\text{h} * \text{ft}^2}$$

Como se observa en el Cuadro B.2 columna 3, fila 15.

### C.17 Cálculo de radiación difusa, $E_d$ .

Para calcular la radiación difusa se utiliza la fórmula

$$E_d = E_o e^{(-\tau_d * m^{ad})} \quad (\text{C.17})$$

Utilizando los datos de masa de aire relativa  $m$ , del Cuadro B.2, fila 2, columna 2, el dato de profundidad óptica,  $\tau_d$  del Cuadro 7.10, columna 2, fila 10 y la constante exponencial  $ad$  del Cuadro 7.10 columna 2 fila 14 y la radiación extraterrestre del Cuadro 7.10, columna 2, fila 3, se obtiene:

$$E_b = 429 \frac{\text{Btu}}{\text{h} * \text{ft}^2} * e^{(-1,779 * 1,15^{0,310})} = 67,00 \frac{\text{Btu}}{\text{h} * \text{ft}^2}$$

Como se observa en el cuadro B.2 columna 4, fila 15.

### C.18 Cálculo de radiación reflejada por el suelo, $E_{tr}$

$$E_{tr} = (E_b \sin \beta + E_d) * \rho_g * 1/2 \quad (\text{C.18})$$

Utilizando los datos de radiación solar directa  $E_b$ , del Cuadro B.2, fila 15, columna 3, y el dato de radiación, difusa  $E_d$ , del Cuadro B.2 fila 15 columna 4, altitud solar,  $\beta$ , del Cuadro B.1, fila 15, columna 2 y el coeficiente de reflexividad de suelo promedio recomendado  $\rho_g$  del Cuadro 7.10, columna 2, fila 15 se obtiene:

$$E_{tr} = \left( 232,04 \frac{\text{Btu}}{\text{h} * \text{ft}^2} * \sin 60,45 + 67,00 \frac{\text{Btu}}{\text{h} * \text{ft}^2} \right) * 0,2 * \frac{1}{2} = 26,89 \frac{\text{Btu}}{\text{h} * \text{ft}^2}$$

Como se observa en el cuadro B.2 columna 5, fila 15

### **C.19 Cálculo del coeficiente de ganancia de calor del vidrio, SHGC**

Para calcular el SHGC de los diferentes ángulos de incidencia se utilizan las correlaciones mostradas en la Figura 7.1

A continuación se muestra el cálculo para el vidrio claro, se utiliza la correlación:

$$\text{SHGC} = 1,18843 * (\cos \Theta)^3 - 3,0681 * (\cos \Theta)^2 + 2,678 * (\cos \Theta) + 0,0122 \quad (\text{C.19})$$

Utilizando los datos del ángulo de incidencia,  $\Theta$  para el vidrio claro del Cuadro B.3, columna 3, fila 15, se obtiene:

$$\begin{aligned} \text{SHGC} &= 01,18843 * (\cos(86,71))^3 - 3,0681 * (\cos(86,71))^2 + 2,678 * \\ &(\cos(86,71)) + 0,0122 = 0,16 \end{aligned}$$

Como se observa en el cuadro B.3 columna 5, fila 15.

Se realiza el mismo cálculo con la correlación mostrada para el vidrio reflexivo de la Figura 7.1 y se calculan los SHGC del Cuadro B.6.

### **C.20 Cálculo de la ganancia de calor por la radiación normal directa a través de las ventanas, $q_b$ .**

Se utilizará la ventana sur para este ejemplo para ventanas con vidrio claro.

Para calcular la ganancia de calor por la radiación normal directa se utiliza la siguiente fórmula

$$q_b = E_b * \cos \Theta * SGCH * A_v \quad (\text{C.20})$$

Utilizando los datos del ángulo de incidencia,  $\Theta$  para el vidrio claro del Cuadro B.3, columna 3, fila 15, utilizando el valor de SHGC del Cuadro B.3, columna 5, fila 15,

utilizando el valor de la radiación directa en el Cuadro B.3, columna 2, fila 15 y utilizando el área de la ventana sur  $A_{vs}$  del Cuadro 7.10 columna 2, fila 8 se obtiene,

$$q_b = 232,15 \frac{\text{Btu}}{\text{h} * \text{ft}^2} * \cos 86,71 * 0,06 * 9,51 \text{ m}^2 * \frac{\text{ft}^2}{\text{m}^2} = 80,29 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}$$

Como se muestra en el Cuadro B.3, columna 7, fila 15.

Se realizan de la misma manera los cálculos para la ventana sur y para los datos del vidrio reflexivo que se muestra en el Cuadro B.6.

### **C.21 Cálculo del radio de radiación horizontal difusa del cielo a la radiación vertical difusa, Y**

Para calcular el radio de radiación horizontal difusa del cielo a la radiación vertical difusa, Y se utiliza la siguiente ecuación.

$$Y = 0.55 + +0,437 * (\cos \Theta)0,313 * (\cos \Theta)^2 \quad (\text{C.21})$$

Utilizando los datos del ángulo de incidencia,  $\Theta$  para el vidrio claro del Cuadro B.3, columna 3, fila 15, se obtiene:

$$Y = 0.55 + +0,437 * (\cos(86,71))0,313 * (\cos(86,71))^2 = 0,58$$

Como se muestra en el Cuadro B.3, columna 7, fila 15.

Se realizan de la misma manera los cálculos para la ventana sur y para los datos del vidrio reflexivo que se muestra en el Cuadro B.6.

### **C.22 Cálculo de la ganancia de calor por la radiación difusa a través de las ventanas, $q_d$ .**

Se utilizará la ventana sur para este ejemplo, así mismo se utilizarán los parámetros para ventanas con vidrio claro.

Para calcular la ganancia de calor por la radiación difusa se utiliza la siguiente fórmula

$$q_d = (E_{tr} + E_d) * Y * SGCH_{Hemis} * A_v \quad (C.22)$$

Utilizando los datos del radio de radiación difusa, Y para el vidrio claro del Cuadro B.4, columna 4, fila 15, utilizando el valor de la radiación reflexiva del suelo,  $E_{tr}$ , del Cuadro B.4 columna 3, fila 15, utilizando el valor de la radiación difusa,  $E_{dr}$ , del Cuadro B.4 columna 3 fila 15, utilizando el valor de  $SHGC_{hemis}$ , del Cuadro 7.11, columna 9, fila 3, y el área de la ventana con orientación al sur del Cuadro 7.10, columna 2, fila 10, se obtiene:

$$q_d = \left( 67,00 \frac{\text{Btu}}{\text{h} * \text{ft}^2} + 26,89 \frac{\text{Btu}}{\text{h} * \text{ft}^2} \right) * 0,58 * 0,73 * 9,51 \text{m}^2 * 10,764 \frac{\text{ft}^2}{\text{m}^2} = 4872,29 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}$$

Como se muestra en el Cuadro B.4, columna 6, fila 15.

Se realizan de la misma manera los cálculos para la ventana sur y para los datos del vidrio reflexivo que se muestra en el Cuadro B.7.

### **C.23 Cálculo de la ganancia de calor total por la radiación solar a través de las ventanas, $q_t$ .**

Se utilizará para este ejemplo ventanas con vidrio claro.

Para calcular la ganancia de calor por la radiación difusa se utiliza la siguiente fórmula

$$q_t = q_{sb} + q_{sd} + q_{ob} + q_{od} \quad (C.23)$$

Utilizando el dato de la ganancia de calor por radiación directa a través de la ventana sur  $q_{sb}$ , del Cuadro B.3, columna 7, fila 15, el dato de de la generación de calor por radiación directa a través de la ventana oeste  $q_{ob}$ , del Cuadro B3, columna 8, fila 15, utilizando el dato de la ganancia de calor por radiación difusa a través de la ventana sur  $q_{sd}$ , del Cuadro B.4, columna 6, fila 15, y utilizando el dato de la generación de calor por radiación difusa a través de la ventana oeste  $q_{od}$ , del Cuadro B.4, columna 7, fila 15 se obtiene.

$$q_t = \left( 211,35 \frac{\text{Btu}}{\text{h}} + 10\,768,16 \frac{\text{Btu}}{\text{h}} + 4\,872,73 \frac{\text{Btu}}{\text{h}} + 7\,901,33 \frac{\text{Btu}}{\text{h}} \right)$$

Como se muestra en el cuadro B.5, columna 4, fila 15.

Se realizan de la misma manera los cálculos para la ventana sur y para los datos del vidrio reflexivo que se muestra en el cuadro B.8.

#### **C.24 Cálculo del ahorro energético anual, AEA, para la OCE-II#4**

Para calcular el ahorro energético anual para esta OCE se calcula el ahorro generado a partir de la diferencia de potencia requerida entre la nueva tecnología y la que se encuentra actualmente.

$$AEA = \text{Cantidad} * \text{Horas} * \text{Días} * (\text{Potencia} - \text{Nueva potencia}) \quad (\text{C.24})$$

Utilizando 8 horas de uso diario, 250 días de trabajo anual, los datos de potencia del Cuadro 7.4 fila 2, columna 2, los datos de nueva potencia del Cuadro 7.4 fila 2, columna 4 y la cantidad de CPUS mostrados en el Cuadro 7.4 fila 2, columna 1, se obtiene:

$$AEA = 256 * 8 \frac{\text{h}}{\text{día}} * 250 \text{ días} * (97 - 19) \text{ W} * \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} = 39 937 \text{ kw} - \text{h}$$

Como se muestra en el Cuadro 7.20, fila 2, columna 4.

#### **C.25 Cálculo de flujos de caja**

El flujo de caja para el año cero es negativo debido a que s la inversión inicial- EL flujo de caja para el año 1 es el ahorro calculado para la OCE. A partir del año 1 se calcula teniendo en cuenta la tasa escalonada del aumento de electricidad y la inflación interanual como siguen.

$$\begin{aligned} &\text{Flujo de caja para el año } 0 \text{ a } 2 \\ &= \text{Flujo de caja para el año } 1 * (1 + TI/100) * (1 + TSE/100) \end{aligned} \quad (\text{C.25})$$

Donde 4,27 % es el índice de inflación seleccionada (TI) y 9,57 % es la tasa escalonada de crecimiento en los precios de electricidad (TSE).

Utilizando el dato de flujo de caja para el año 1 del Cuadro 7.6 .se tiene

$$\text{Flujo de caja para el año 2} = \text{C} \$ 658\,188,00 * \left(1 + \frac{4,27}{100}\right) * \left(1 + \frac{9,5}{100}\right) = \text{C} \$ 751\,490,43$$

Como se muestra en el Cuadro 7.6, columna 3, fila 3.

### C.26 Cálculo del factor de descuento

El factor de descuento para cada año se calcula utilizando la siguiente fórmula, donde n es el número del año evaluado.

$$\text{Factor de descuento} = \frac{1}{(1 + (\text{TBP}/100))^n} \quad (\text{C.26})$$

Utilizando los datos de número de año del Cuadro 7.6 columna 1, fila 4, y una TBP de 6,25 % como ya se discutió se obtiene

$$\text{Factor de descuento} = \frac{1}{(1 + (6,75/100))^2} = 0,88$$

Como se muestra en Cuadro 7.6, columna 3, fila 4.

### C.27 Cálculo del valor actual

El valor actual para cada año se calcula utilizando la siguiente fórmula, donde n es el número del año evaluado.

$$\text{Valor actual} = \text{Factor de descuento} * \text{Flujo de caja} \quad (\text{C.27})$$

Utilizando los datos de flujo de caja del año 2 del Cuadro 7.6 columna 2, fila 4, y el factor de descuento del Cuadro 7.6, columna 3, fila 4, se tiene

$$\text{Valor Actual} = 0,88 * \text{C} \$ 751\,490,43 = \text{C} \$ 659\,458,83$$

Como se muestra en Cuadro 7.6, columna 4 fila 4

### C.28 Cálculo del valor actual neto, VAN

El valor actual neto para cada año se calcula utilizando la siguiente fórmula

$$\text{VAN} = \text{Suma del valor actual de todos los años anteriores} - \text{Inversión Inicial} \quad (\text{C.28})$$

Utilizando los datos de valor actual año 2 del cuadro 7.6 columna 4 fila 4, de valor actual año 1 del Cuadro 7.6, columna 4, fila 3, y la inversión inicial mostrada en el cuadro 7.6 columna 2, fila 2, se tiene:

$$\text{VAN} = \text{C} 659\,458,83 + \text{C} 616\,569 - \text{C} 1\,860\,420,00 = \text{C} - 584\,391,62$$

Como se muestra en el Cuadro 7.6, fila 9, columna 5.

### C.29 Cálculo de la tasa interna de retorno, TIR

Para calcular la tasa interna de retorno se utilizó la función TIR de Microsoft Excel, tomando en cuenta todos los flujos de caja de cada proyecto.

### C.30 Cálculo del período de recuperación, PR

Para calcular el período de recuperación se utiliza la fórmula

$$\text{Período de Recuperación} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorro Anual}} \quad (\text{C.29})$$

Utilizando los datos de ahorro generado del primer año, del Cuadro 7.6, columna 2, fila 3 y los datos de inversión del Cuadro 7.6, columna 2, fila 3 se obtiene;

$$\text{Período de Recuperación} = \frac{\text{C} 1\,860\,420,00}{\text{C}658\,188,00} = 2,83 \text{a os}$$

Como se muestra en el Cuadro 7.6, fila 11, columna 2.