 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Metodología para la medición y análisis del consumo energético de edificaciones terciarias aplicada a las instalaciones del parque de investigaciones del instituto tecnológico metropolitano.

Andrés Alberto Mejía Pérez

Duverney Lozano Palacio

Tecnología electromecánica

Director(es) del trabajo de grado

Luis Fernando Grisales Noreña

Jairo Díaz Acevedo

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

01 de septiembre de 2017

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolló una metodología de medición de consumo global de energía en edificaciones terciarias, con el fin de identificar el consumo energético global, las cargas y las horas de mayor consumo de energía, este proyecto se realizó mediante encuestas a los diferentes sitios de la edificación terciaria y la medición del consumo global. El consumo de energía se enfocó a sistemas HVAC, iluminación y cargas enchufables, dado que se ha encontrado que dichos sistemas son los mayores consumidores a nivel mundial en edificaciones terciarias (edificaciones que prestan servicios). Dicho protocolo fue validado en las instalaciones del parque de investigaciones del instituto tecnológico metropolitano de Medellín- sede fraternidad. Como aporte principal de este trabajo se encontró que al aplicar una metodología por encuesta para la estimación de la demanda se pueden identificar las cargas de mayor impacto en el consumo global y las horas donde ocurren los mayores picos de demanda, las cuales sumadas a la medición directa permiten conocer el comportamiento de consumo energético de la edificación bajo análisis.

Palabras clave: sistemas HVAC, iluminación, gasto energético, consumo global, sistemas terciarios

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos de forma especial al ingeniero electricista y M.Sc. profesor Luis Fernando Grisales Noreña, quien hizo posible la realización de este trabajo, a su vez a nuestro co-asesor el ingeniero electromecánico Jairo Díaz quien ha sido apoyo fundamental.

A nuestros padres que nos han brindado su apoyo incondicional en todo momento.

A nuestros profesores, amigos y compañeros de trabajo, pues sin ustedes no habríamos logrado cumplir esta meta.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

HVAC: Ventilación, Calefacción y Aire Acondicionado (de sus siglas en inglés- Heating , Ventilation and Air Conditioner).

THD: Distorsión armónica total (de sus siglas en inglés- Total harmonic Distortion).

VRMS: Medida estadística de la magnitud en cantidad de una variable, en este caso del voltaje (de sus siglas en inglés Root Mean Square)

IRMS: Raíz Media Cuadrática) Medida estadística de la magnitud en cantidad de una variable, en este caso de la corriente (de sus siglas en inglés Root Mean Square)

UCTA : Unidad Central de Tratamiento de Aire

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	6
2.	MARCO TEÓRICO.....	9
3.	METODOLOGÍA.....	25
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
5.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.....	51
	REFERENCIAS.....	53
	APÉNDICE.....	55

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

Se ha determinado que a nivel mundial el consumo de energía eléctrica está en constante crecimiento, lo cual a largo plazo genera la necesidad de aumentar la generación y altos impactos medioambientales. Entre los mayores consumidores se encuentran las edificaciones terciarias, siendo las cargas eléctricas de mayor relevancia los sistemas HVAC iluminación y equipos enchufables (Santiago & Vazquez, 2016).

Con base en lo anterior, es importante establecer estrategias que permitan cuantificar el consumo y comportamiento eléctrico de los sistemas asociados a las cargas mencionadas anteriormente, de tal manera que se pueda identificar el consumo energético de la edificación; para luego tomar decisiones que mejoren su eficiencia energética. Esto con el fin de realizar cambios significativos que impacten las tendencias de consumo y faciliten la consecución de los objetivos nacionales planteados en el COP21. Así mismo, para garantizar una mayor sostenibilidad en el suministro de energía eléctrica y la eficiencia del sistema interconectado (Juaidi, AlFaris, Montoya, & Manzano-Agugliaro, 2016).

En los últimos años diferentes trabajos han sido planteados dentro de la temática aquí tratada, como es el caso de la investigación desarrollada en (Julio, 2012), donde se identificaron las ventajas potenciales que tiene el implementar los sistemas de automatización y control en edificaciones terciarias, especialmente el impacto que tienen sobre la eficiencia energética, donde a su vez reportan que este sector es uno de los más grandes consumidores de energía, por lo tanto aporta enormes cantidades de CO₂ a la atmósfera del planeta (Julio, 2012). Barnes y Parrish en 2016, reportearon que las edificaciones terciarias en estados unidos ocupan el 90% del área de los edificios, lo cual conlleva el 50% del consumo de energía y se espera que continúe en aumento para el 2030, por la cual se hace necesario encontrar métodos de estimación de la demanda y estrategias

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

que permitan reducir dicho consumo; haciendo estos sistemas más eficientes (Barnes & Parrish, 2016). Así también, en (Kim & Srebric, 2017) utilizan como caso de estudio dos campus universitarios, para los cuales determinan que el consumo eléctrico está directamente relacionado con el área de los edificios, debido a que involucra la cantidad de personas que pueden encontrarse en dicha área.

Todo lo anterior evidencia el alto impacto de las edificaciones terciarias dentro del consumo energético mundial, y resalta el valor de un buen proceso de medición para la identificación del consumo energético de este tipo de edificaciones; presentado este último como punto base de cualquier método de eficiencia energética. Conociendo la importancia de la identificación del consumo energético y el alto impacto de las edificaciones terciarias, este trabajo de investigación propone el desarrollo de una metodología para la medición del consumo energético de este tipo de edificaciones empleando una estrategia de estimación por encuesta y medición directa, para el cual se deben identificar las características principales y los tipos de carga presentados en las edificaciones bajo análisis, la cual permita obtener el consumo global de energía de la edificación y el impacto de cada una de las principales cargas en él; obteniendo de este modo un panorama energético que servirá como base al momento de tomar decisiones de eficiencia energética. Para el desarrollo de este proyecto de investigación fueron planteados los siguientes objetivos:

OBJETIVO GENERAL

Medición y análisis del consumo energético de una edificación terciaria.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Analizar y clasificar los diferentes tipos de edificaciones terciarias.
- Identificar las cargas principales de las edificaciones terciarias.
- plantear una metodología para la medición del consumo energético en edificaciones terciarias.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Evaluar la metodología en el parque de investigaciones del instituto tecnológico metropolitano-sede fraternidad.

El siguiente trabajo se encuentra dividido de la siguiente manera: en la primera parte se encuentra el marco teórico, donde se aborda la situación a analizar que radica principalmente en el interés que genera el consumo energético en las edificaciones terciarias a nivel mundial. Posteriormente se presenta la metodología para el desarrollo de los objetivos, donde se describe el protocolo planteado. Después se presentan los resultados obtenidos al aplicar la metodología planteada. Finalmente se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

Para la medición y análisis del consumo energético en edificaciones terciarias, se hace necesario reconocer e interpretar los componentes que conforman este proceso. Basándose en el análisis operativo, estructural y funcional de la edificación, seguido del protocolo de medición y finalmente identificando la metodología para el análisis de los datos. El interés sobre este tipo de edificaciones radica en que son unas de las principales consumidoras de energía en el mundo, para el caso de estados unidos los pequeños edificios comerciales consumen aproximadamente 40% de la energía total (Barnes & Parrish, 2016). A continuación, se presenta una descripción de este tipo de edificaciones, así como de las características de su consumo eléctrico.

2.1 Definición y tipos de edificaciones terciarias:

Las edificaciones terciarias son aquellas que tienen por finalidad la prestación de servicios enfocados a personas naturales o empresas en general, solventando las necesidades de diferentes tipos de usuarios (Center for sustainable system, 2016). En la tabla 1 se enuncian y describen diferentes tipos de edificaciones terciarias estudiadas por la administración de información energética de los Estados Unidos.

Tabla 1. Descripción de los tipos de edificaciones terciarias (U.S Energy Information Administration, 2016)

Tipo de edificio	Definición	Subcategorías
Educativo	Edificación utilizada para la instrucción académica o técnica en salones de clase. Algunos edificios que también componen los	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Escuela primaria o secundaria ✓ Prescolar o guardería ✓ Colegio o universidad ✓ Educación para adultos ✓ Educación religiosa

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	campus educativos y que su uso no está dado como salón de clase deben incluirse en la categoría respectiva (edificios administrativos, alojamientos, entre otros).	
Venta de alimentos	Edificios utilizados para la venta de alimentos al por mayor o al por menor.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Supermercado o mercado de alimentos. ✓ Tienda de conveniencia.
Servicio de alimentos	Edificios utilizados para la preparación de alimentos y bebidas para su consumo.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Comidas rápidas. ✓ Restaurante o cafetería ✓ Bar. ✓ Servicio de catering o sala de recepción. ✓ Café, bangels o tiendas donas. ✓ Tiendas de helado o yogurt congelado.
Salud (pacientes hospitalizados)	Edificios utilizados para diagnóstico y tratamiento de pacientes.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Hospitales. ✓ Rehabilitación de pacientes.
Salud (Pacientes ambulatorios)	Edificios utilizados como medio de diagnóstico y tratamiento para la atención ambulatoria. Aquí pueden incluirse las oficinas médicas en el caso de que se utilice cualquier dispositivo para el diagnóstico, sino se clasificarían como edificios de oficinas.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Oficinas médicas con las características mencionadas en la anterior columna. ✓ Clínica u otros cuidados de la salud ambulatoria. ✓ Rehabilitación ambulatoria. ✓ Edificios veterinarios.
Alojamiento	Edificios utilizados para ofrecer múltiples comodidades tanto a corto como largo plazo a residentes. Este tipo de edificios incluyen	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Moteles u hoteles ✓ Dormitorio, fraternidad, hermandad o casa de retiro ✓ Ancianatos, conventos o monasterios. ✓ Refugio, orfandad, rehabilitación.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	enfermería especializada y otros de atención especial.	
Mercantil (minoristas que no son centro comercial)	Edificios utilizados para la venta y exhibición de productos distintos de los alimentos.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tienda al por menor de licores ✓ Concesionarios o salas de exposición de vehículos y embarcaciones. ✓ Estudios o galerías
Mercantil (cerrados y cadenas comerciales)	Centros comerciales compuestos por múltiples establecimientos conectados.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Centros comerciales cerrados.
Oficinas	Edificios utilizados para espacios de oficina en general, profesionales o administrativos.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Oficinas administrativas o profesionales, gubernamentales o mixtas. ✓ Bancos, instituciones financieras o ventas. ✓ Oficinas de construcción. ✓ Centros de llamadas.
Públicos	Edificios en los que las personas se reúnen para actividades sociales o recreativas. Estas actividades pueden desarrollarse en salas de reuniones privadas o no.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sociales o de reuniones (centros comunitarios, salas de reuniones, etc.) ✓ Recreación (Gimnasios, club de salud, boleras, deportes interiores) ✓ Entretenimiento o cultura (museo, teatros, cine, campos de deporte, casino, discotecas). ✓ Librerías ✓ Casas funerarias ✓ Salas de exhibición ✓ Estudios de radiodifusión ✓ Terminales de transporte
Orden público y seguridad	Edificios utilizados para la preservación de la ley y el orden o la seguridad pública.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Estaciones de policía o bomberos ✓ Cárceles, reformatorios o penitenciarías. ✓ Oficinas de juzgado
Culto religioso	Edificios en los que las personas se reúnen para cultos religiosos.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Capillas ✓ Iglesias ✓ Mezquitas ✓ Sinagogas ✓ Templos
Servicio	Edificios en los que se provee algún tipo de servicio diferente a las	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Servicio de taller o reparación de vehículos ✓ Parqueaderos ✓ Taller de reparaciones ✓ Tintorería y lavandería ✓ Oficina o centro de correos

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	comidas o venta al detal de bienes.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Lavado de automóviles ✓ Bombas de combustible ✓ Tienda de revelado de fotos ✓ Salones de belleza y peluquería ✓ Salones de bronceado ✓ Centro de copiado o imprenta ✓ Perreras
Almacenes y depósitos	Edificios utilizados para el almacenamiento de bienes, productos manufacturados, materias primas, o las pertenencias del personal.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Almacenes refrigerados ✓ Almacenes no refrigerados ✓ Centros de distribución o envío

2.2 Cargas eléctricas en edificaciones terciarias:

Los pequeños edificios comerciales consumen aproximadamente 40% de la energía en Estados Unidos (Barnes & Parrish, 2016) y el 35 % de la energía en Europa, para las cuales se han encontrado que tienen un potencial de ahorro de aproximadamente entre el 35 y 50 %.(“El sector terciario y los objetivos de eficiencia energética,” n.d.). El consumo está destinado a cargas eléctricas encargadas de prestar servicios específicos para las actividades que se desarrollan en las edificaciones. Se estima que las cargas de mayor relevancia en las edificaciones terciarias son los sistemas HVAC, iluminación y equipos enchufables (Hong et al., 2015). La figura 1 presenta una gráfica con la contribución de diferentes tipos de cargas eléctricas para un contexto Estadunidense.



Figura 1. Destino de las cargas eléctricas en edificaciones terciarias en Estados Unidos (Barnes & Parrish, 2016).

En la figura 1, se puede observar como el consumo energético en las edificaciones terciarias se pueden agrupar en tres sistemas principales: sistemas HVAC, iluminación y equipos enchufables (Kramer, Maas, Martens, van Schijndel, & Schellen, 2015). Por lo cual a continuación se amplía cada uno de estos tipos de sistemas.

2.2.1 Sistemas de iluminación:

Los sistemas de iluminación son de gran importancia para garantizar la productividad y eficacia en el desarrollo de las actividades involucradas en una edificación terciaria, debido a que potencializan el confort ocupacional. (Superior, Carlos, & Prada, 2011). De igual forma, los sistemas de iluminación consumen aproximadamente el 20% de energía en edificaciones enfocadas en la prestación de servicios (Ürge-Vorsatz et al., 2012). A continuación, se detallan algunos de los aspectos más relevantes relacionados con los sistemas de iluminación.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Generalidades de los sistemas de iluminación:

La luz se define como una onda de radiación electromagnética con características específicas, que puede ser percibida por el sentido de la vista humana. Dichas características están relacionadas con la longitud de onda de las radiaciones, siendo el rango respectivo para el espectro visible entre los 400-700 nm (Tilley, 2010). Para estudiar el comportamiento de la luz se han definido las magnitudes y unidades fundamentales de la fotometría, las cuales se enuncian y describen en la tabla 2

Tabla 2. Magnitudes y unidades fundamentales de fotometría (Tilley, 2010)

Magnitud	Definición	Unidad	Fórmula
<i>Flujo luminoso</i>	Cantidad de energía lumínica por unidad de tiempo (potencia) que es emitida por una fuente lumínica en todas las direcciones y que puede ser percibida.	<i>Lumen (lm)</i> : Flujo luminoso emitido por un foco puntual de 1 candela en un ángulo de 1 esterorradián.	$\Phi = \frac{Q (lm * s)}{t (s)}$ Donde: Φ: Flujo luminoso Q: Energía lumínica t: Tiempo
<i>Intensidad luminosa</i>	Intensidad de flujo luminoso proyectado en una dirección determinada y contenida en un ángulo sólido.	<i>Candela (cd)</i> : Intensidad luminosa emitida por una fuente puntual de 1 lumen en un ángulo sólido de 1 esterorradián.	$cd = \frac{\Phi (lm)}{sr}$ Donde: cd: Intensidad luminosa Φ: Flujo luminoso sr: Ángulo sólido
<i>Iluminancia</i>	Cantidad de flujo luminoso que se emite sobre una superficie.	Lux (lux): Iluminación que recibe una superficie de un metro cuadrado	$E = \frac{\Phi (lm)}{S (m^2)}$ Donde: E: Iluminancia Φ: Flujo luminoso S: Área de incidencia
<i>Luminancia</i>	Intensidad luminosa emitida en una dirección dada por una superficie. Se		

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

tienen en cuenta, tanto si procede de una fuente primaria que genera luz, o de una secundaria que la refleja.

cd/m² (L): Intensidad luminosa de 1 candela por metro cuadrado.

$$L = \frac{I \text{ (cd)}}{S \cos\theta \text{ (m}^2\text{)}}$$

Donde:
L: Luminancia
S: Superficie
θ: Angulo de la línea de visión.

Eficacia luminosa

Es la relación entre el flujo luminoso emitido por una fuente y la potencia que se le aporta.

Lm/w: Cantidad de lúmenes emitidos por la fuente luminica con respecto a los vatios recibidos.

$$\eta = \frac{\phi \text{ (lm)}}{P \text{ (watt)}}$$

Donde:
η: Eficacia luminosa
φ: Flujo luminoso
P: Potencia

Las magnitudes descritas anteriormente permiten cuantificar y describir los efectos producidos por fuentes de iluminación naturales o artificiales en un espacio determinado. De igual forma, es importante considerar los factores implicados en la calidad de la iluminación, los cuales tienen una influencia relevante en el comportamiento y rendimiento de los ocupantes (Turner, 2007). Entre dichos factores se encuentran:

- **Uniformidad:** Describe la homogeneidad con la que la energía luminica se extiende sobre un area determinada. Esto suele evidenciarse respecto a diferencias en los niveles de iluminancia, que pueden generar puntos brillantes u oscuros que interfieren en el confort del usuario. Así mismo, es importante mencionar que esta característica puede ser la causa de consumos energéticos inecesarios sobre espacios de dimensiones considerables. Por tanto, en el diseño de sistemas de iluminación se busca mantener la uniformidad sobre localizaciones donde se desarrollen tareas específicas que la requieran y no sobre la totalidad de la instalación.
- **Deslumbramiento:** Es un fenómeno visual asociado con el brillo excesivo de los objetos, es decir, cuando su iluminancia es mucho mayor que la de su entorno, produciendo molestias en el campo de visión de los ocupantes. Para reducir el nivel de

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

deslumbramiento en un área suele obstaculizarse, eliminarse o reubicarse luminarias u otras fuentes lumínicas en general, sin embargo, este tipo de acciones pueden reducir la eficiencia del sistema.

- **Color:** Es la tonalidad de matiz característica de la fuente de iluminación, teniendo una gran influencia para actividades que requieren una distinción apropiada de los colores o despertar diferentes comportamientos en los usuarios. Puede describirse a través de dos parámetros: El índice de reproducción cromática y la temperatura coordinada del color.

A partir de los factores anteriormente mencionados se realiza el diseño y construcción del sistema de iluminación, con lo cual se fija la potencia de la capacidad instalada. Vale la pena destacar que dependiendo del escenario donde se instale la luminaria varían las condiciones técnicas y necesidades de este tipo de sistemas.

Cabe señalar que el principal consumo que influye en el costo del servicio de energía de una edificación pública es la iluminación. Por ende, lo más fácil para disminuir de manera considerable el consumo energético, es cambiar una bombilla por otra que nos ilumine igual con menor consumo de energía. Por consiguiente, la edificación pública es un lugar que necesita mucha iluminación natural y artificial y en estos casos debemos prestar mucha atención de cómo se está iluminando un ambiente. De esta manera se logra un ambiente en confort y productivo. En cada espacio se llevan a cabo actividades diferentes y por esto la iluminación también es diferente. Iluminar un ambiente es más que colocar bombillas para cuando falte la luz natural. Una correcta iluminación debe brindar la sensación de confort que se busca y al mismo tiempo debe ser parte del aspecto estético general del lugar que se ilumina como, resaltar zonas, ampliar espacios, destacar avisos, dar personalidad a la edificación y facilitar el desarrollo la realización de las tareas que hacemos en el lugar; cumpliendo siempre con las normas técnicas establecidas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2.2 Sistemas de climatización:

El principal objetivo de los sistemas HVAC es garantizar y maximizar el confort térmico de los ocupantes dentro de la edificación, considerando las pérdidas y ganancias de calor experimentadas. El confort térmico humano no solo depende de la temperatura del aire sino también de otros factores como la humedad, velocidad del aire, temperatura de las superficies circundantes y el nivel de actividad realizada (Turner, 2007). Existen diferentes clasificaciones que, dependiendo de la función del fluido, esta se encargara de compensar la carga térmica en el recinto climatizado, podemos diferenciarlos como:

2.2.2.1 Sistemas de todo aire:

Acondiciona el aire que es distribuido en diferentes lugares de la edificación para compensar las cargas térmicas en el edificio climatizado, mediante un flujo volumétrico adicional de aire que es calentado o enfriado en una unidad central. De esta forma, los principales componentes de este tipo de sistemas son la unidad central de tratamiento de aire (UCTA) y la red de ductos que permiten trasladar el aire tratado a las zonas requeridas (ver figura 2)(Torrella, 2002).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

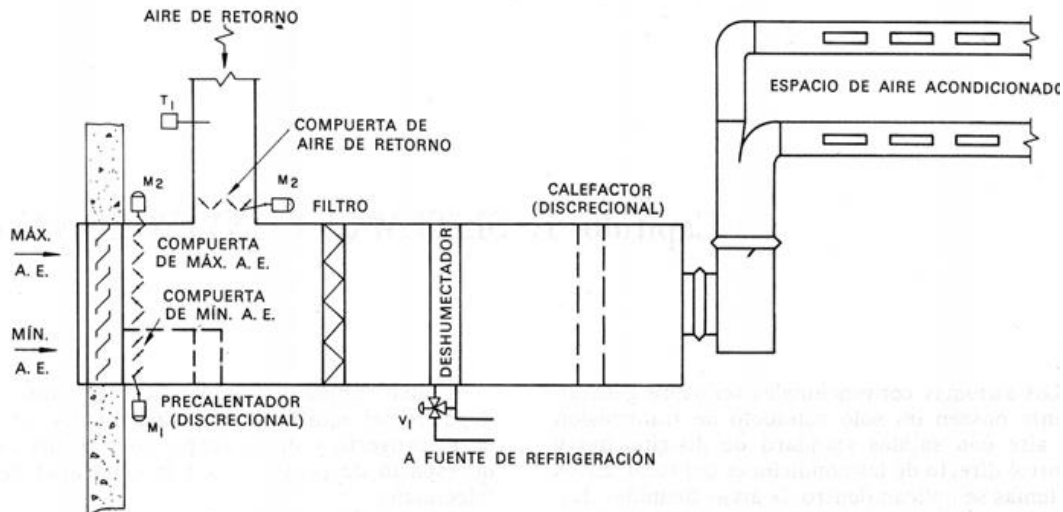


Figura 2. Sistema de todo aire en edificación terciaria (Torrella, 2002).

Tienen capacidad para controlar la renovación del aire y la humedad del ambiente, aunque también se llama así a los sistemas dotados de climatizadores que acondicionan el aire de una zona y que posteriormente se distribuye en los locales. La UCTA se compone de todos elementos necesarios para enfriar o calentar el aire que entra del exterior (según sea la necesidad).

2.2.2.2 Sistemas toda agua:

Los sistemas toda agua constan de equipos enfriadores o calentadores de agua centralizados en el edificio, desde donde se distribuye fría o caliente según el confort deseado, esta unidad se compone básicamente de una sección de ventiladores y una serpentina con aletas, a estos equipos se le denomina fan-coil.

El ventilador origina la circulación del aire del local, haciéndolo atravesar la serpentina que es alimentada con aire frío o caliente, distribuyéndose directamente sin necesidad de conductos. El aire interior de la edificación es mezclado con parte del aire exterior, para satisfacer las necesidades y el confort del edificio.

Los sistemas todo agua pueden clasificarse en sistemas de tubería simple (dos tubos) y sistemas de varias tuberías.

- **Sistemas de tubería simple:** en estas instalaciones se prepara un caudal de agua fría o caliente, la cual va distribuida a través de una red de tuberías hasta un equipo terminal instalado en la edificación. Este equipo está constituido básicamente por un

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

intercambiador de calor y un ventilador que fuerza el paso de aire de impulsión para favorecer el proceso de termo transferencia.

- Sistemas de varias tuberías:** en los sistemas de varias tuberías cada unidad terminal tiene una doble entrada de agua (caliente y fría) y una tubería (tres tuberías) o dos tuberías de retorno (cuatro tuberías). Un sistema de tres tubos, dispone de dos tubos de ida para el agua caliente y fría y un tercero de retorno común. Con esta configuración se asegura un servicio permanente y flexible en cualquier época del año. Al lado de las ventajas apuntadas, tales como la de un servicio continuo a voluntad, bien de agua caliente o fría en cualquier ventilo convector del circuito (zonificación innecesaria), se observa como inconveniente principal la fuerte pérdida energética que supone el hecho de disponer de un único retorno con mezcla de corrientes fría y caliente de salida.
- Sistemas de cuatro tubos:** presentan como diferencia con las anteriores, un retorno diferenciado de las corrientes de agua fría y caliente, de esta forma se soslaya el inconveniente del mezclado que tenía lugar, en caso de trabajar con tres tubos, lo que indudablemente supone una mejora energética y unos menores costes de explotación. Sin embargo a esta ventaja se contraponen unos mayores costes de inversión, al tener cuatro tuberías, dos válvulas por batería, dos vasos de expansión, y en general todos los elementos de la instalación de agua duplicados(Torrella, 2015a).

En la figura 3, se presenta la representación gráfica de la tubería simple y múltiples tuberías.

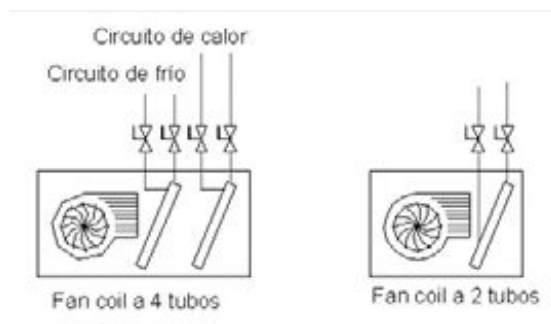


Figura 3. Fan coil simple y múltiples tuberías (Torrella, 2002).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2.2.3 Sistemas aire-agua:

Los sistemas aire-agua son aquellos que utilizan tanto el medio aire como el medio agua, para ser transportado al local a acondicionar. Son, por tanto, una mezcla de los dos sistemas anteriores (sistemas todo agua y todo aire). Los elementos que utilizan estos sistemas son fan-coils o inductores, que se encargan, mediante el agua que reciben, de calentar o refrigerar el local, y climatizadores que típicamente aportan el aire de ventilación a los locales normalmente ya tratado. Estos sistemas vienen, en muchas ocasiones, impuestos por la normativa (que obliga a la ventilación de locales), y las necesidades constructivas que impiden en la mayoría de los casos hacer tomas de aire exterior para los fan-coils en fachadas (Torrella, 2002).

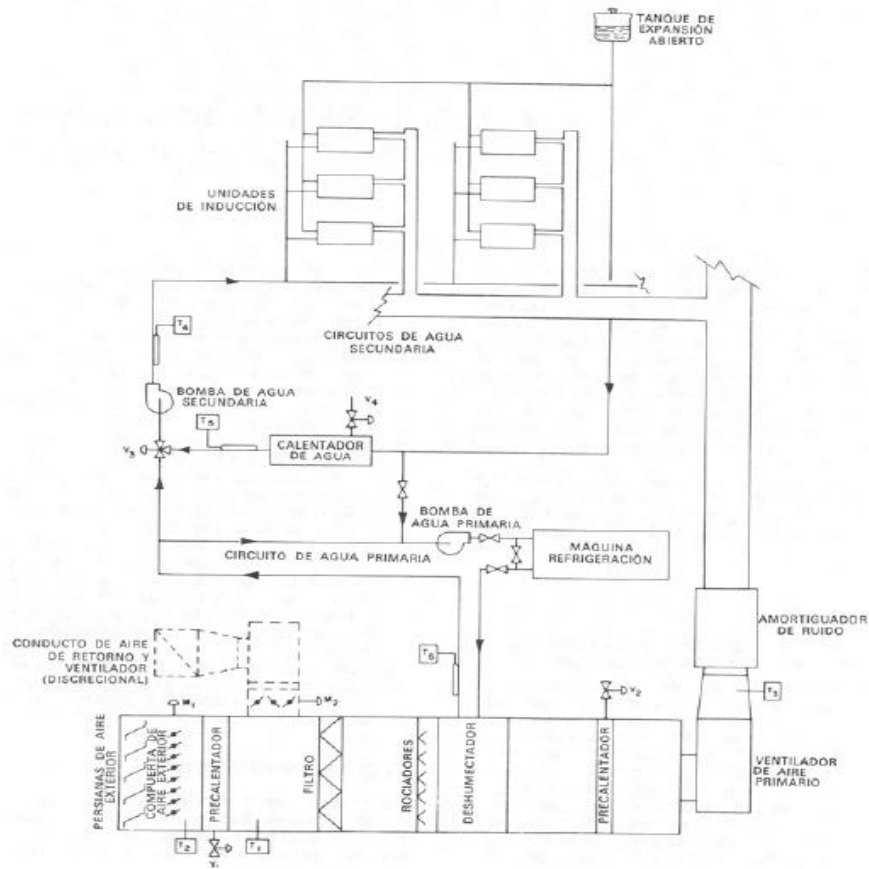


Figura 4. Esquema de un sistema aire-agua con unidades de inducción (Torrella, 2002).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2.2.4 Sistema todo refrigerante:

Son aquellos que introducen dentro del local el propio refrigerante, es decir, en el recinto se dispone al menos de un aparato climatizador con una batería de expansión directa por cuyo interior circula refrigerante y por el exterior el aire que es enfriado o calentado(Torrella, 2015b):

- **Sistemas individuales mini-split:** Es el sistema de climatización más elemental formado por una pequeña unidad de habitación. Si el sistema es de una capacidad adecuada puede servir a un espacio de mayores dimensiones mediante una pequeña red de conductos de aire. Estas unidades autónomas encuentran su aplicación en las habitaciones pequeñas o grandes y zonas segregadas. También se instalan estas unidades en residencias particulares, oficinas, establecimientos comerciales o grupos de oficinas que constituyen zonas individuales.

- **Sistema de unidades multi-split:** Consiste en la aplicación de unidades partidas de expansión directa en cada uno de los locales, con una unidad exterior, o condensadora, capaz de asistir a varias interiores. Cada una de las interiores asiste a un local. La exterior puede disponer de alguno de los siguientes métodos de control para adaptarse a las necesidades de las unidades interiores:

- **Sistemas de volumen variable refrigerante:** Similar a los sistemas multi-split de tipo invertir, consiste en la aplicación de unidades condensadoras exteriores con un control muy específico de funcionamiento de los compresores, a las que se acoplan una serie de unidades evaporadoras interiores que según el fabricante de que se trate pueden llegar a ser hasta 16(Torrella, 2015b).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.3 Equipos enchufables:

En los diferentes tipos de edificaciones existen dispositivos enchufables que dependiendo de la edificación y del tipo de servicios que presta dicha edificación son necesarios para la correcta administración de estos, los cuales para cumplir su trabajo requieren de la utilización y transformación de la energía eléctrica.

La cantidad de energía que consume un dispositivo eléctrico depende de dos magnitudes:

- Potencia eléctrica (P): Se entiende por potencia eléctrica, en general, como la rapidez con que se transforma un tipo de energía en otra en un determinado instante de tiempo.
- El tiempo (t): Es el periodo de tiempo en el cual funciona un dispositivo cualquiera, el cual consume potencia, para así generar un trabajo requerido y específico del dispositivo utilizado.

Los dispositivos enchufables que mayor energía consumen son aquellos que disipan mucho calor. Algunos, como los radiadores o los tostadores tienen precisamente esa finalidad. Pero, en otros casos, como en las bombillas de incandescencia, las pérdidas de calor no tienen ningún efecto útil; solo “sirven” para aumentar el consumo.

Este sistema se divide en dos tipos dispositivos enchufables de uso general y especial:

2.3.1 Dispositivos enchufables de uso general:

Los dispositivos de uso general son aquellos los cuales son de uso común y utilizados normalmente de forma cotidiana estos abarcan desde objetos personales como los celulares y equipos portátiles hasta aquellos utilizados por todo el personal como cafeteras, refrigeradores, computadores etc. Dentro de las cargas más comunes dentro de las edificaciones terciarias se encuentran las cargas asociadas a equipos ofimáticos. La ofimática es el conjunto de métodos, aplicaciones y herramientas informáticas que se usan

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

en labores de oficina con el fin de perfeccionar, optimizar, mejorar el trabajo y operaciones relacionados. En referencia a lo anterior, la estructura ofimática abarca desde computadoras, impresoras, escáneres conectados mediante una red de área local hasta teléfonos y equipos de fax. Las herramientas o medios ofimáticos permiten idear, elaborar, ceder, guardar todas las informaciones necesarias en una oficina. Las herramientas de ofimática son: procesamiento de texto, base de datos, hojas de cálculo, programas de correo electrónico, suite ofimática, calculadora, agendas, entre otros programas (Sàez, 1990).

2.3.2 Dispositivos enchufables especiales:

Además de los principales sistemas descritos anteriormente, en las instalaciones de edificaciones terciarias hay otra serie de equipos consumidores de energía eléctrica cuyo consumo de forma individual o grupal, afecta drásticamente el consumo global de la edificación (Baladron, 2013). Estos equipos se dividen de los de uso general debido a que, aunque puedan ser utilizados por el personal, su uso y mantenimiento está administrado por un personal capacitado para su manejo, Dentro de los equipos especiales podemos encontrar:

Workstations: Estas son computadoras de altas prestaciones destinadas para trabajos técnicos o científicos, estos equipos son encontrados en zonas escolares tales como laboratorios de investigación.

Ascensores: El ascensor es un equipo común en las edificaciones terciarias, su consumo de energía puede representar entre el 3% y el 8% del edificio. Las partes del ascensor que más contribuyen al consumo son la iluminación de la cabina y el funcionamiento del motor para el movimiento (Instituto Tecnológico de Galicia.).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Cocinas: Los equipos eléctricos en las cocinas de los edificios terciarios son utilizados por un personal capacitado para la alimentación, debido a esto se encuentra en la sección de dispositivos especiales.

2.4 Protocolos de medición de energía eléctrica:

Es un procedimiento involucrado en la adquisición de datos de consumo y comportamiento eléctrico de un usuario. Lo cual permite identificar y cuantificar los factores que influyen en el consumo eléctrico de las diferentes cargas eléctricas, y de esa forma permiten facilitar el planteamiento de estrategias para mejorar su eficiencia energética. Realizar un protocolo de medición es importante debido a que permiten que las variables sean siempre medidas de la misma forma la cual proporciona veracidad y sistemas eficaces útiles y prácticos. Básicamente el protocolo de medición consiste en desarrollar con datos precisos necesarios lo que compete al tema en cuestión, en este caso para las mediciones de energía eléctrica en edificaciones terciarias. Estos están conformados por:

Base de datos: Datos necesarios sobre el lugar donde se va a medir y adicionales de la medición (temperatura ambiente, humedad, día soleado o nublado, vientos, etc.) ya que debido a esto se reduce o aumenta el consumo eléctrico de los sistemas aplicados en el lugar.

Base técnica: Datos de las técnicas utilizadas y elemento principal de medición

Base evaluativa: Resultados arrojados y contrastados.

Base de conclusiones: Se muestran las conclusiones sobre el tema en cuestión y sobre los datos arrojados en el protocolo.

3 METODOLOGÍA

En esta sección se describe el protocolo planteado para el proceso de medición y adquisición y análisis de datos en edificaciones terciarias, el cual permite la caracterización de sus patrones de consumo eléctrico. De acuerdo con la figura 5, se tienen los pasos y el procedimiento para una adquisición de datos segura y confiable para el consumo eléctrico global.

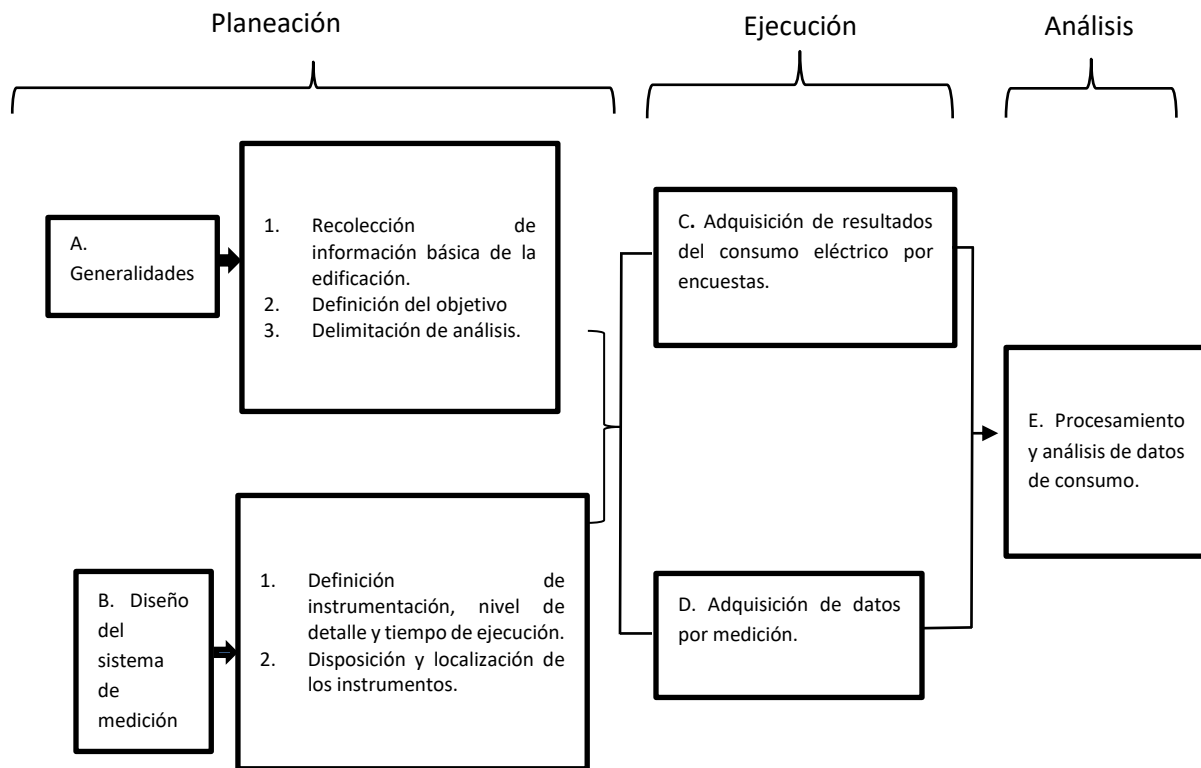


Figura 5. Protocolo de medición para consumo global

Se observa que el protocolo planteado consiste de tres componentes fundamentales que deben efectuarse de manera secuencial (planeación, ejecución y análisis), los cuales a su vez presentan una serie de pasos sistemáticos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Como se mencionó anteriormente, este protocolo se basa esencialmente en adquirir datos de consumo energético global en edificaciones terciarias las cuales son afectadas igualmente por las diferentes cargas eléctricas instaladas en la edificación dependiendo a su vez del presupuesto económico y nivel de detalle requerido para este.

A continuación, se describen cada uno de los pasos a seguir para realizar el análisis del consumo eléctrico global de la edificación terciaria (parque i):

A Generalidades:

Esta sección se enfoca en la adquisición de los datos que influyen en el consumo energético, para esto se requieren de información estructural de la edificación con el fin de identificar los momentos de menor y mayor consumo energético, estas influencias se especificaran a continuación:

A.1. Recolección de información básica de la edificación

El primer paso involucrado en el protocolo de medición, requirió de la realización de una visita técnica a las instalaciones de la edificación para describir información básica de relevancia para su consumo general de electricidad, en base a este paso nos encontramos con que la edificación terciaria parque i presenta las siguientes características.

Características estructurales:

La edificación cuenta con dos niveles los cuales se encuentran distribuidos como se demuestra en las figuras 6 y 7.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

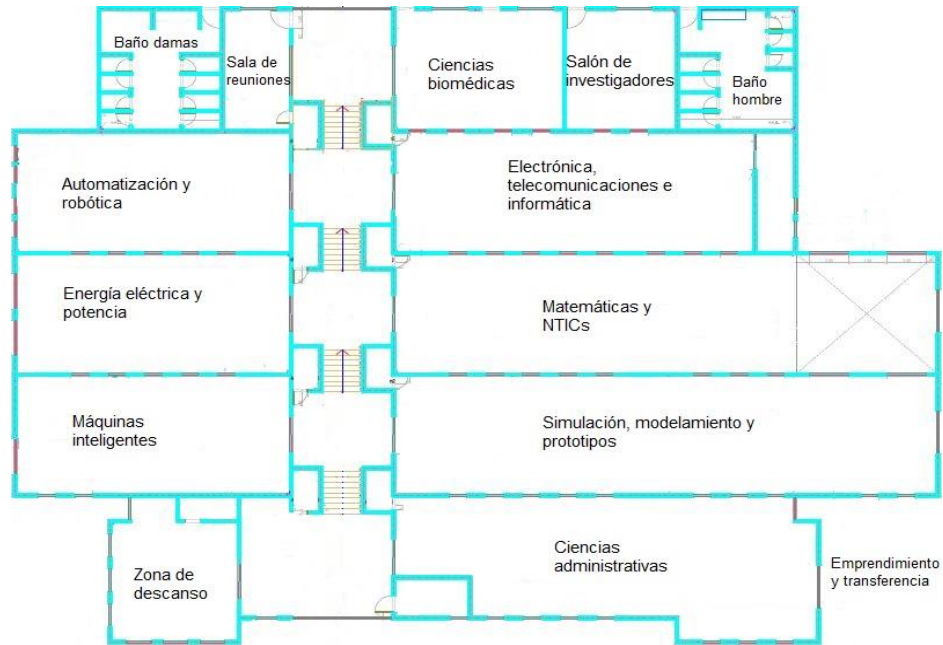


Figura.6 Distribución de los espacios localizados en el nivel 1 de la edificación

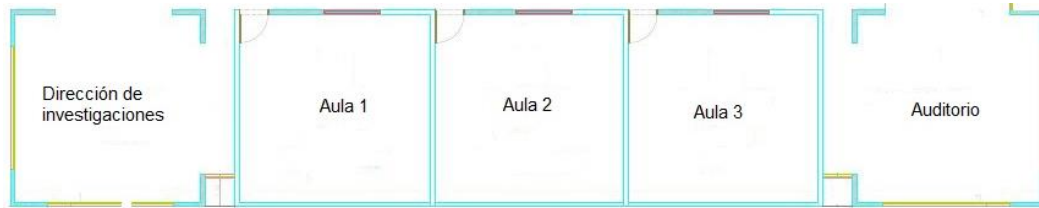


Figura 7. Distribución de los espacios localizados en el nivel 2 de la edificación

Ubicación de la zona parque i:

El Parque i se encuentra ubicada en el barrio Boston en la calle 54 A #1-30 de la ciudad de Medellín. Como se muestra en la figura 8, el parque i hace parte del ITM Fraternidad.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 8. Ubicación parque i

Tipo de servicio:

Prestación de servicio educativo de investigación y administrativas.

Número de espacios:

la edificación, cuenta con un total de 11 laboratorios y 3 aulas, los cuales están distribuidos, en las siguientes dependencias, como lo muestra la tabla 3.

Tabla 3. Distribución de espacios de laboratorios y otros

Designación	Espacio	Área (m²)
Laboratorio 1	Ciencias administrativas	77.05
Laboratorio 2	Emprendimiento y transferencia de resultados	56.94
Laboratorio 3	Máquinas inteligentes	86.31
Laboratorio 4	Simulación, modelamiento y prototipos	171.36
Laboratorio 5	Energía eléctrica y potencia	86.31
Laboratorio 6	Automática y robótica	87
Laboratorio 7	Electrónica y telecomunicaciones	114.30
Laboratorio 8	Ciencias biomédicas	52.7
Laboratorio 9	Salón de investigadores	34.92
Laboratorio 10	Dirección de investigaciones	39.98
Laboratorio 11	Matemáticas y NTICS	171.36
No aplica	Sala de reuniones	16.01
No aplica	Aulas 1	40.9
No aplica	Aula 2	40.9

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

No aplica	Aula 3	40.9
No aplica	Auditorio	39.98
No aplica	Pasillos nivel 1	444.79
No aplica	Pasillos nivel 2	77.33
<i>Total nivel 1</i>		1399.05
<i>Total nivel 2</i>		280.19
<i>Total</i>		1679.24

Características de las cargas

Previamente a través de las visitas técnicas realizadas a la edificación fue recolectada la información de las cargas eléctricas existentes en el parque i, en Las tablas 4 ,5 ,6 y 7 se identifican las características generales de los sistemas de iluminación, aire acondicionado, equipos de cómputo y equipos especiales respectivamente.

Tabla 4. Características generales de las cargas de iluminación

Carga eléctrica	Características			
	Espacio	N° de luminarias	Tipo de luminaria	Potencia nominal (kW)
<i>Iluminación</i>	<i>Ciencias administrativas</i>	12	Fluorescente 2x54	0.108
	<i>Emprendimiento y transferencia de resultados</i>	5	Fluorescente 2x54	0.108
	<i>Máquinas inteligentes</i>	10	Fluorescente 2x54	0.108
	<i>Simulación, modelamiento y prototipos</i>	22	Fluorescente 2x54	0.108
	<i>Energía eléctrica y potencia</i>	10	Fluorescente 2x54	0.108
	<i>Automática y robótica</i>	19	Fluorescente 2x54	0.108
	<i>Electrónica y telecomunicaciones</i>	11	Fluorescente 2x54	0.108
	<i>Ciencias biomédicas</i>	19	Fluorescente 2x54	0.108
	<i>Salón de investigadores</i>	8	Fluorescente 2x54	0.108
	<i>Dirección de investigaciones</i>	4	Fluorescente 2x54	0.108

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	<i>Matemáticas y NTICS</i>	4	Fluorescente 2x54	0.108
	Sala de reuniones	2	Fluorescente 2x54	0.108
	Aulas de postgrado	18	Fluorescente 2x54	0.108
	Auditorio	11	Fluorescente 2x54	0.108
	Pasillos nivel 1	29	Fluorescente 2x54	0.108
	Pasillos nivel 2	8	Fluorescente 2x54	0.108
	Total			

Tabla 5. Características generales de las cargas del aire acondicionado

Carga eléctrica	Características		
	Espacio	N° de sistemas	Potencia nominal (kW)
<i>Aire acondicionado</i>	<i>Ciencias administrativas</i>	1	1.12
	<i>Emprendimiento y transferencia de resultados</i>	1	1.12
	<i>Máquinas inteligentes</i>	1	1.12
	<i>Simulación, modelamiento y prototipos</i>	1	1.12
	<i>Energía eléctrica y potencia</i>	1	1.12
	<i>Automática y robótica</i>	1	1.12
	<i>Electrónica y telecomunicaciones</i>	1	1.12
	<i>Ciencias biomédicas</i>	1	1.12
	<i>Salón de investigadores</i>	1	1.12
	<i>Dirección de investigaciones</i>	1	1.12
	<i>Matemáticas y NTICS</i>	1	1.12
	Aula 1	1	1.12
	Aula 2	1	1.12
	Aula 3	1	1.12
	Total		

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 6. Características generales de las cargas de equipos de cómputo

Carga eléctrica	Características			
	Espacio	N° de equipos	Tipo de equipos	Potencia nominal (kW)
<i>Equipos de cómputo</i>	<i>Ciencias administrativas</i>	12	Escritorio	0.264
		2	Portátiles	0.07
	<i>Emprendimiento y transferencia de resultados</i>	3	Escritorio	0.264
		2	Portátiles	0.07
	<i>Máquinas inteligentes</i>	7	Escritorio	0.264
		3	Portátiles	0.07
	<i>Simulación, modelamiento y prototipos</i>	7	Escritorio	0.264
		3	Portátiles	0.07
	<i>Energía eléctrica y potencia</i>	3	Escritorio	0.264
		3	Portátiles	0.07
	<i>Energía eléctrica y potencia</i>	2	Escritorio	0.264
		0	Portátiles	0.07
	<i>Electrónica y telecomunicaciones</i>	5	Escritorio	0.264
		2	Portátiles	0.07
	<i>Ciencias biomédicas</i>	3	Escritorio	0.264
		3	Portátiles	0.07
	<i>Salón de investigadores</i>	0	Escritorio	0.264
		3	Portátiles	0.07
	<i>Dirección de investigaciones</i>	3	Escritorio	0.264
		2	Portátiles	0.07
<i>Matemáticas y NTICS</i>	7	Escritorio	0.264	
	1	Portátiles	0.07	
Total				

Tabla 7. Características generales de las cargas de equipos especiales

A	Características			
	Espacio	N° de equipos	Tipo de equipo	Potencia nominal (kW)
<i>Equipos especiales</i>	<i>Simulación, modelamiento y prototipos</i>	7	Workstation	1.52
	<i>Ciencias biomédicas</i>	2	Workstation	1.52
	<i>Externa</i>	1	Cafetera	2
	Total			

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Las anteriores tablas muestran las características generales de las cargas involucradas y a su vez, estas se ven reflejadas en el resultado de la identificación de las mismas.

Condiciones operativas:

Al realizar una inspección a las instalaciones de Parque i, se identificó que brindan servicio generalmente de 8 am a 7 pm, evidenciando que algunos usuarios presentan variaciones en dichos horarios dadas sus responsabilidades.

Localización y caracterización del circuito primario de alimentación:

El circuito de alimentación general de la edificación se encuentra alimentado por un transformador trifásico a continuación se presenta el esquema del diagrama unifilar como se muestra en la figura 9.

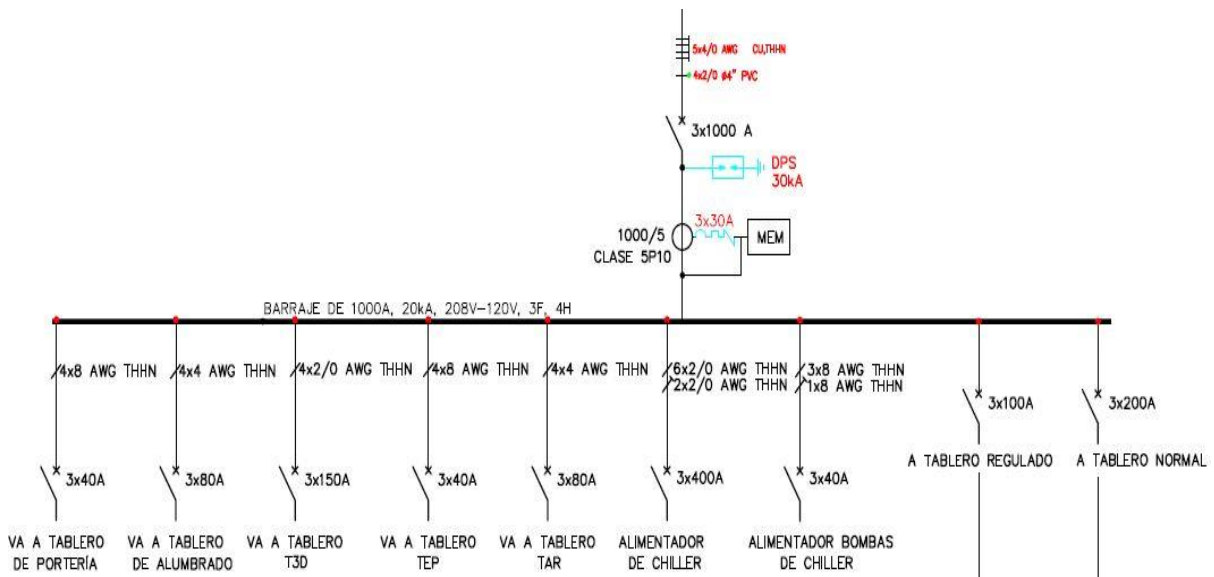


Figura 9. Diagrama unifilar

A.2. Definición del objetivo

En el contexto de este trabajo, el objetivo principal para efectuar el protocolo propuesto, es conocer el consumo global de la edificación terciaria Parque i. el cual se logra mediante

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

una estimación por encuesta y la implementación del Fluke 435 para obtener el consumo global.

A.3. Delimitación del análisis

No se requiere efectuar medición eléctrica en cada carga involucrada, solo se realizará medición en la alimentación principal. Si el encargado de la medición desea hacerlo carga por carga es su decisión, Con la medición en la alimentación principal se conoció el consumo global de la edificación terciaria.

B Diseño del sistema de medición

B.1. Definición de Instrumentación, nivel de detalle y tiempo de ejecución:

Para la medición se implementó el Fluke 435, cuyos componentes y características principales se muestran a continuación: En la Figura 10 se muestra el instrumento Fluke 435.



Figura 10. Fluke 435

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Elementos del medidor

- Adaptador eléctrico, modelo BC430
- Juego de adaptadores de enchufe internacional
- BP290 (batería de ion litio de capacidad normal) 28 Wh (7 horas o más)
- Juego de puntas de prueba y pinzas cocodrilo, modelo TLS430
- Pinzas con códigos de color y adhesivos regionales, modelo WC100
- Modelo i430flex-TF, 61 cm (24 pulg.) de longitud, 4 pinzas amperimétricas
- Tarjeta SD de 8 GB
- PowerLog en CD (incluye manuales de instrucciones en formato PDF)
- Cable USB A-B mini

B.1.2 Nivel de detalle:

La obtención de datos automáticos se da gracias a la capacidad de memoria digital, el formato de almacenamiento y el método de transferencia de datos utilizados por el medidor fluke 435, para esto nos basamos en dos aspectos fundamentales: Frecuencia de medición y la precisión y exactitud asociada a los equipos utilizados. Para las mediciones realizadas en parque i se tomó una frecuencia de medición de 5 minutos, con una exactitud de: en Voltios Vrms (ca+cc) $\pm 0,1\%$ del voltaje nominal y Amperios (CA+CC) $\pm 0,5\% \pm 5$ cuentas

Las variables medidas fueron las siguientes:

- Tensiones de línea-neutro y línea-línea.
- Factor de potencia
- Potencia activa reactiva y aparente
- Energía activa reactiva y aparente

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Voltaje RMS
- Corriente RMS
- THD total harmonic distorsion
- Desbalance
- Variación de frecuencia
- Corriente pico
- Flicker
- Corriente de línea (A,B,C)

B.1.3 Tiempo de ejecución:

El tiempo de medición seleccionado para el análisis fue de un mes, dentro del cual dos semanas se encontraban todos los trabajadores y en el sitio de trabajo y las otras dos semanas se encontraban en vacaciones.

B.2. Disposición y localización de los instrumentos:

El instrumento de medición fue ubicado en el circuito de alimentación general de la edificación, arrojando los datos de manera automática sobre el consumo eléctrico global.

En la Figura11. Se presenta el tablero del diagrama unifilar con su ubicación (en la subestación).



Figura 11. Diagrama unifilar en subestación

Luego de fijar los aspectos establecidos en la fase de planeación, se inició la adquisición y recolección de los datos de consumo eléctrico global de la edificación, para efectuar el procesamiento de dichos datos se efectuaron dos tipos de mediciones a continuación:

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

C. Adquisición de datos por encuesta.

Una estrategia confiable y práctica para llevar a cabo esta perspectiva se basa en la recolección de los datos de consumo eléctrico por medio de encuestas. Considerando los tiempos de trabajo, personal ubicado y las cargas utilizadas en intervalos de tiempos determinados que evidencie el ciclo operativo de la edificación.

Este proceso se inició identificando los tipos de cargas utilizadas en la edificación terciaria parque i, los cuales coinciden con los mencionados en las secciones anteriores (HVAC, luminarias y otros equipos), y el consumo energético necesarios para su utilización, para esto se aplicó una encuesta (Ver anexo 1) en cada uno de los espacios de la edificación; para lo cual se identificó el horario de trabajo, tipos de carga utilizados (iluminación y equipos de cómputo) y temperatura de trabajo de cada usuario encuestado. Vale la pena destacar que para cada espacio fueron encuestados los usuarios que se encontraban al momento de la encuesta.

Las dependencias que fueron encuestadas están distribuidas en: personal administrativa, docentes y estudiantes. A continuación, se muestra su distribución en la tabla 8.

Tabla 8. Número de encuestados en la edificación por espacios.

Designación	Ocupación máxima por espacio	Número de encuestados
<i>Ciencias administrativas</i>	15	12
<i>Emprendimiento y transferencia de resultados</i>	6	5
<i>Maquinas inteligentes</i>	11	8
<i>Simulación, modelamiento y prototipos</i>	10	7
<i>Energía eléctrica y potencia</i>	4	4
<i>Automática y robótica</i>	7	6
<i>Electrónica y telecomunicaciones</i>	8	5

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

<i>Ciencias biomédicas</i>	5	3
<i>Salón de investigación</i>	6	4
<i>Dirección de investigación</i>	9	8
<i>Matemáticas y ntics</i>	2	2

Consideraciones a tener en cuenta:

Horarios de trabajo que incluye entrada, receso, salida y también días trabajados, esto con el fin de identificar horarios y días de mayor consumo.

D. Adquisición automática de datos.

Para la adquisición automática de datos fue utilizado el analizador de red Fluke 435, con el cual se obtuvo en consumo global de la edificación parque i, su ubicación, tiempos de medición y variables fueron presentados en secciones anteriores.

E. Análisis y procesamiento de datos:

Para el análisis y procesamiento de los datos ya adquiridos en las secciones anteriores del protocolo de medición, se crea una serie de comparativos entre cada método utilizado con el fin de identificar su concordancia y verificar que los datos en ambos son acertados.

El método adecuado para lo anterior es crear gráficos y tablas que demuestren de forma completa los datos a analizar, seguido de un análisis de curvas y tendencia.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados de la metodología descrita anteriormente que consta de la información del consumo global de la edificación parque i la cual fue obtenida por encuesta y medición. Finalmente se realiza un análisis y comparación de estos datos.

4.1. Identificación de las cargas y su participación en la capacidad instalada edificación:

Por medio de un análisis de la capacidad instalada en parque i, obtenido de la visita a la identificación, se plantea una estimación de la participación de los principales tipos de carga sobre la capacidad instalada global (ver figura 12).

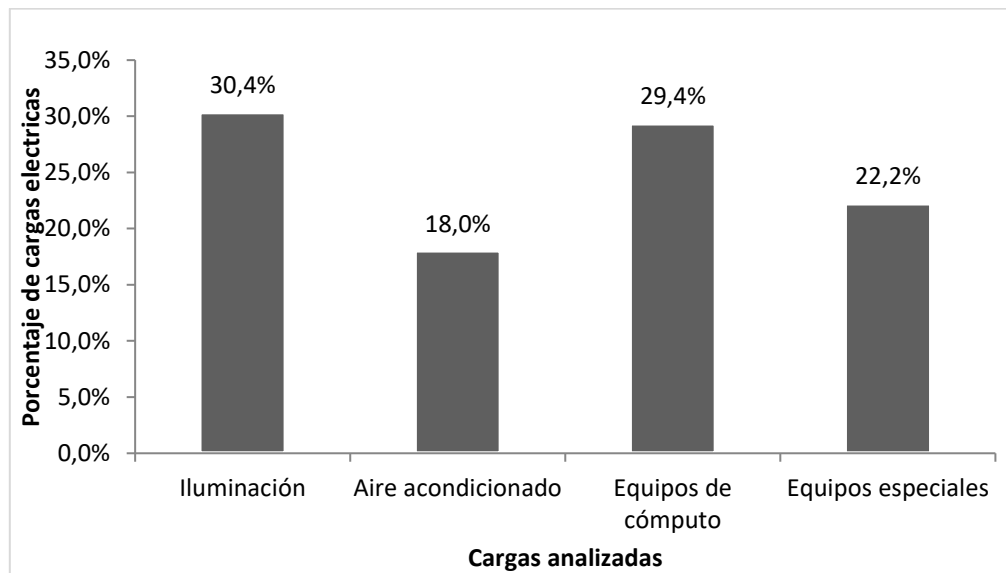


Figura 12. Porcentaje de participación de las cargas instaladas.

Este protocolo de medición fue basado en la influencia y en el consumo eléctrico que generan los distintos sistemas, por lo tanto, analizando la figura anterior (figura 12) se

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

puede observar que la carga con mayor porcentaje de participación es la iluminación con un 30,4%, seguida de los equipos de cómputo con una participación del 29,4%, a este le sigue los equipos especiales con un 22,2% y culmina el aire acondicionado con un 18% de participación.

Estos resultados indican que la iluminación representa el mayor porcentaje debido que existen instaladas iluminarias no solo en los espacios de trabajo de los laboratorios sino también en auditorios, salones y pasillos. Los equipos de cómputo también ocupan un gran porcentaje ya que debido que las actividades del edificio terciario parque i se encuentran orientadas a la investigación, 76 equipos para ser exactos que corresponden no solo a equipos de escritorio sino también portátiles. A pesar de que los equipos especiales ocupan el tercer lugar en carga instalada, se debe tener en cuenta que este porcentaje es alto dado que en parque i solo se cuenta con 3 equipos especiales.

4.2 Análisis de resultados de estimación de consumo por encuesta.

Por medio de la realización de encuestas a los diferentes espacios de las instalaciones de parque i, se logró estimar el consumo energético global de la edificación, y adicionalmente se realizó un análisis por cargas (iluminación, aire acondicionado, equipos de cómputo y especiales enchufables). A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

4.2.1 sistema de iluminación.

La figura 13 presenta el consumo energético correspondiente al sistema de iluminación, el cual fue analizado por una semana de actividades; con un rango de operación de 6 de la mañana a 10 de la noche.

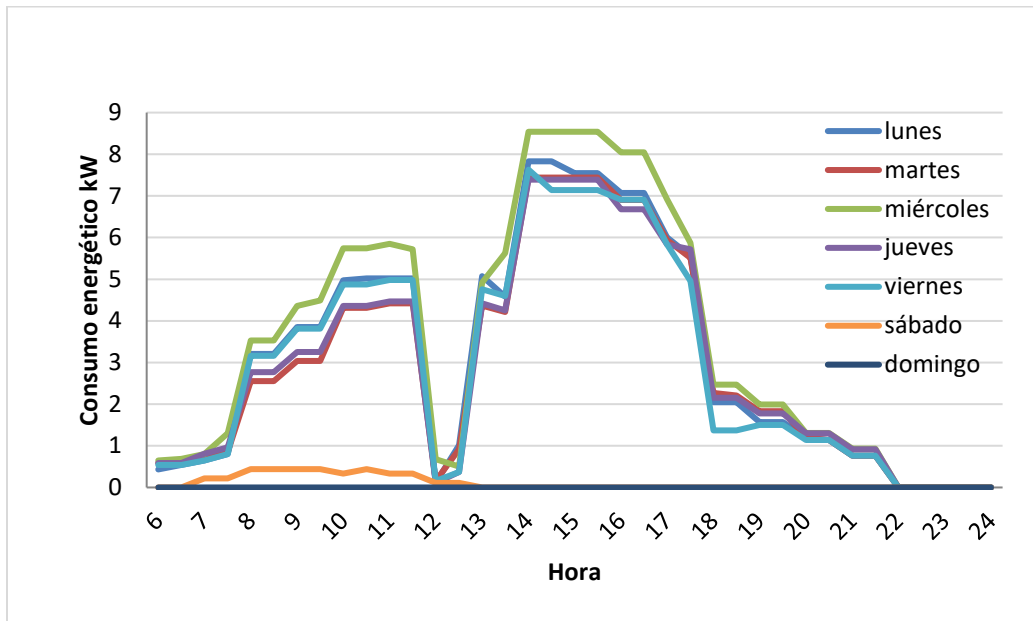


Figura 13. Consumo por iluminación

Para la construcción de la figura 13, se tomaron los datos de las encuestas realizadas para cada espacio y por un periodo de tiempo definido para todos los días de la semana, obteniendo una gráfica de comportamiento para el consumo energético por iluminación en el tiempo.

Se puede observar que el día de mayor consumo energético por iluminación se da el día miércoles llegando a consumir 8.54 kW/h entre las 14:00 a 15:30 horas. La grafica también muestra que entre los días lunes a viernes se presenta el mayor consumo y en los días sábado y domingo existe una notable disminución de este.

Se resalta que el consumo por iluminación durante toda la semana a las 14:00 horas alcanzo sus máximos valores, correspondientes a 7,83 kW/h, 8.54 kW/h, 7,39 kW/h y 7,63 kW/h, para los días lunes, miércoles, jueves y viernes respectivamente. Vale la pena destacar que los días martes, sábados y domingos no siguen este patrón de consumo. El consumo mínimo se presenta en la hora 6:00 con un consumo promedio de lunes a viernes de 0,54 kW/h. Los consumos más notables de energía se presentan en las horas de la tarde.

Se identifica que existe un descenso notable de consumo de energía por la ausencia de personal entre las 11:30 y la hora 13:00, así como también después de la hora 18:00 y los fines de semana. Vale la pena destacar que dentro de este análisis se considera nulo el consumo para los días domingos, debido a la misma condición anteriormente descrita.

4.2.2 sistema de aire acondicionado.

En la figura 14 se muestra el consumo energético del aire acondicionado en las instalaciones parque i, para lo cual se tomaron las potencias nominales de los sistemas de aire acondicionado de cada espacio, asumiendo que siempre trabaja a potencia nominal.

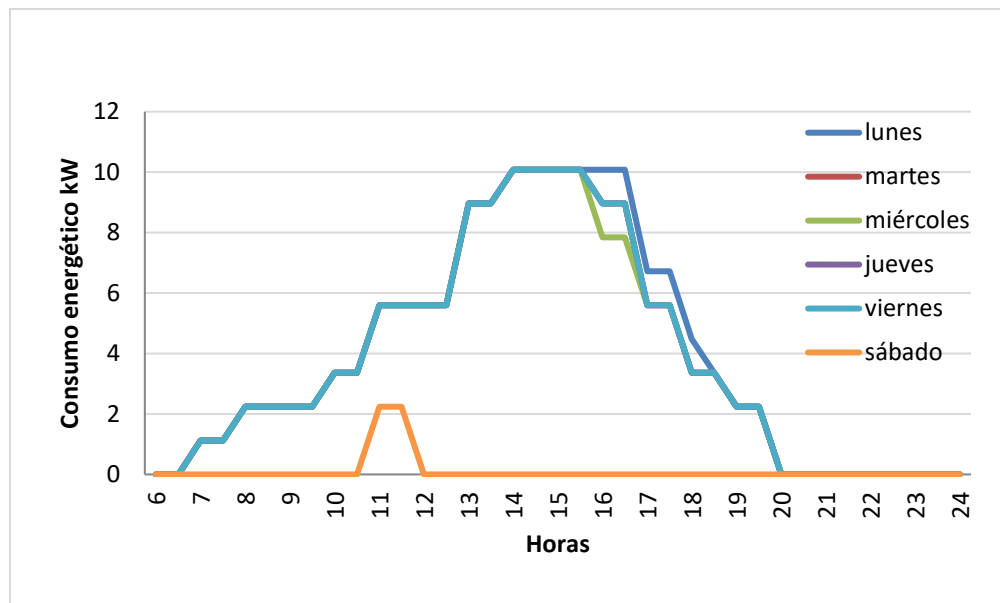


Figura 14. Consumo aire acondicionado

Se observa que el máximo consumo energético ocurre entre las 14:00 y las 17:00 horas, esto tiene sentido dado que en este rango horario suelen presentarse las mayores temperaturas climáticas (ambiente). En comparación con las otras cargas el sistema de aire no presenta reducción de consumo entre las 11:30 y las 13:00 horas, esto se debe a que los usuarios no apagan el aire acondicionado a la hora del receso laboral, como lo indico el 55%

de los usuarios en la encuesta. Los días sábado el consumo energético se reduce considerablemente, presentan operación del aire acondicionado solo entre el rango de las 10:30 y las 12:00 horas. El día domingo no se tiene en cuenta dentro de esta carga dado que la instalación no presenta ocupación de personal docente regularmente.

4.2.3 sistema enchufables o desconectables:

La figura 15 presenta el consumo energético correspondiente a equipos enchufables de cargas generales, dentro de los que se encuentran los equipos de cómputo, equipos de oficina, entre otros.

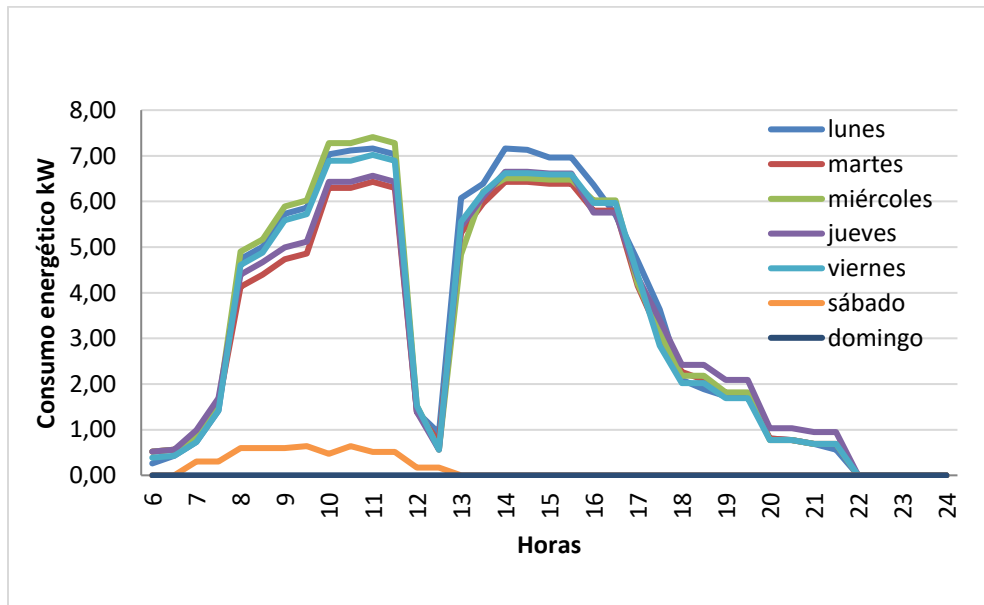


Figura 15. Consumo equipos de cómputo

Al igual que en las figuras anteriores entre los días lunes a viernes se presenta un comportamiento de consumo similar, variando en gran medida los días lunes y martes, esto debido a la cantidad de personal ubicado en los laboratorios. En el horario de las 8:00 horas

se visualiza que para los días lunes, miércoles, jueves y viernes se conserva la constante del consumo hasta las 12:00 horas, horario en que la edificación queda prácticamente sin usuarios. Por otro lado, el día martes tiene un comportamiento especial a las 6:30 horas registrando un consumo de 4,52, kW/h situación no vista en los demás días, lo cual puede deberse a una mayor ocupación del sitio. Pero para todos los días de lunes a viernes la gráfica denota que a partir de las 18:00 horas empieza a haber una disminución notable en el consumo, lo que corresponde con horas de menor ocupación del área.

4.2.4 sistema de equipos especiales

En la figura 16 se presenta el consumo energético correspondiente a equipos especiales, los cuales para la instalación parque i están representados por las Workstation, un brazo robótico y una máquina de 5 ejes, dentro de estas cargas (siempre en operación), por lo cual se presenta punto base de consumo de energía.

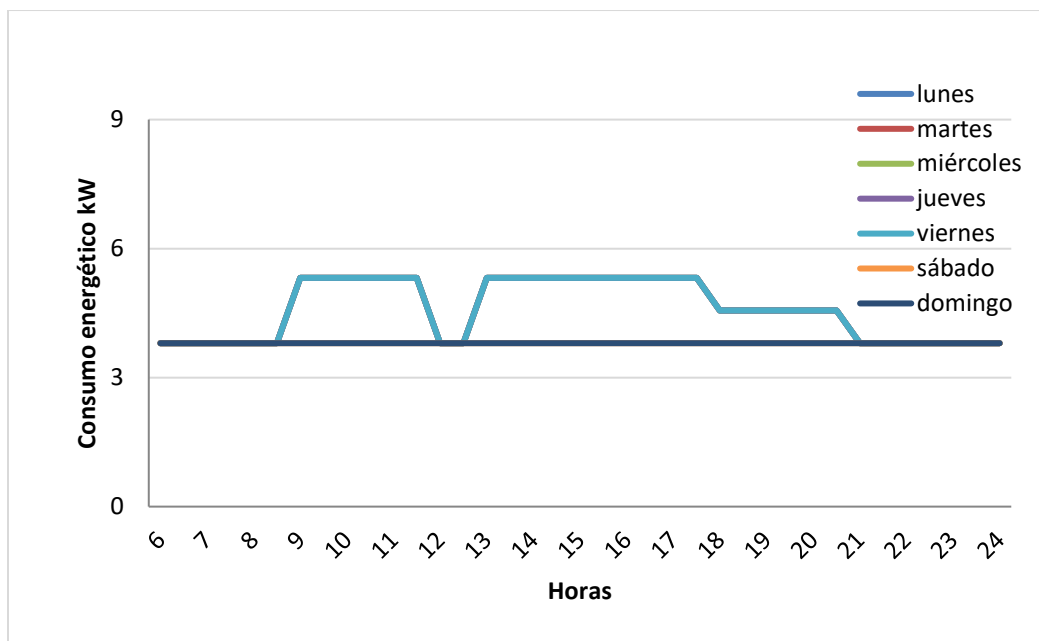


Figura 16. Consumo equipos especiales

El consumo mínimo (3.8 kW/h) no depende de los niveles de ocupación y se presenta de manera constante, está relacionado con los consumos correspondientes a las Workstation que nunca son apagados y se utilizan principalmente para actividades de simulación. Todos los días de semana, excepto sábado y domingo presentan el mismo perfil de consumo, para los sábado y domingo solo se presenta la carga base correspondiente a las Workstation.

4.2.5 consumo global de la edificación

La figura 17 muestra el consumo global de la edificación, correspondiente a la suma de los consumos horarios de las cargas anteriormente presentadas (iluminación, aire acondicionado y equipos enchufables).

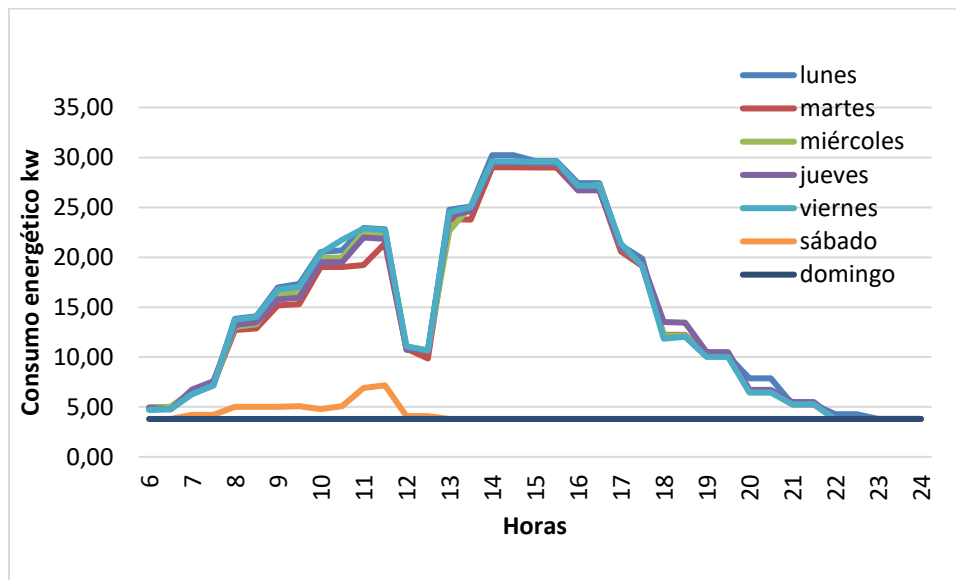


Figura 17. Estimación curva de demanda eléctrica total por día.

En esta grafica se presenta el consumo total de las cargas mencionadas y descritas anteriormente, se puede observar un pico que alcanza los 29,60 kW/h entre las 14:00 hasta las 15:30 horas; también tiene una reducción de consumo entre las 11:30 hasta las 13:00 horas, esto debido en este tiempo como se mencionó anteriormente se debe al tiempo de

descanso alimentación del personal en los espacios de parque i, teniendo en este rango un consumo mínimo de 10,67 kW/h ya que en este tiempo se mantiene encendido el sistema de aire acondicionado. Para los días sábado y domingo se tienen un consumo mínimo de energía de 3,80 kW/h el cual permanece constante el día domingo teniendo el sábado una pequeña variación entre las 7:00 horas hasta las 12:00 horas con un pico de 7,17 kW/h.

4.2.6 factor de ocupación:

En la figura 18 se presenta la ocupación total en la edificación en los distintos horarios y días de la semana.

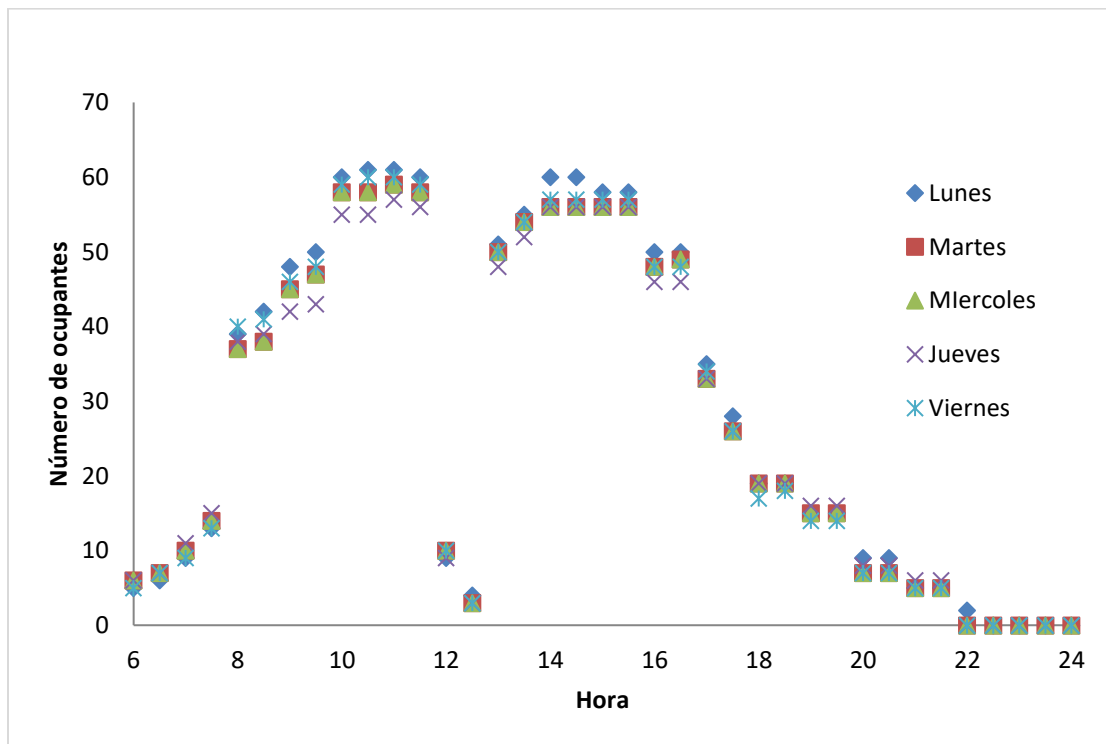


Figura 18. Ocupación total de la edificación semanal.

Se relacionan los días de la semana (corresponden a los símbolos mostrados) la hora evaluada y el número de ocupantes para el parque I, A partir de las encuestas realizadas para la cantidad de usuarios en el tiempo para todos los días de la semana. Se encuentra que se tiene una tendencia similar para todos los días de la semana a las diferentes horas evaluadas, para las cuales se tiende a un alza en el consumo energético a partir de las 6:00 y hasta las 11:00 horas, existiendo una reducción de ocupación entre las 11:00 y 13:00 horas, y una posterior alza a partir de la hora 14:00, donde se comienza a evidenciar una reducción de ocupación que tiende a cero para la hora 22:00. Lo cual establece una notable relación entre el comportamiento de la ocupación y el consumo global de la edificación.

La figura 19 revela la ocupación total los fines de semana en la edificación.

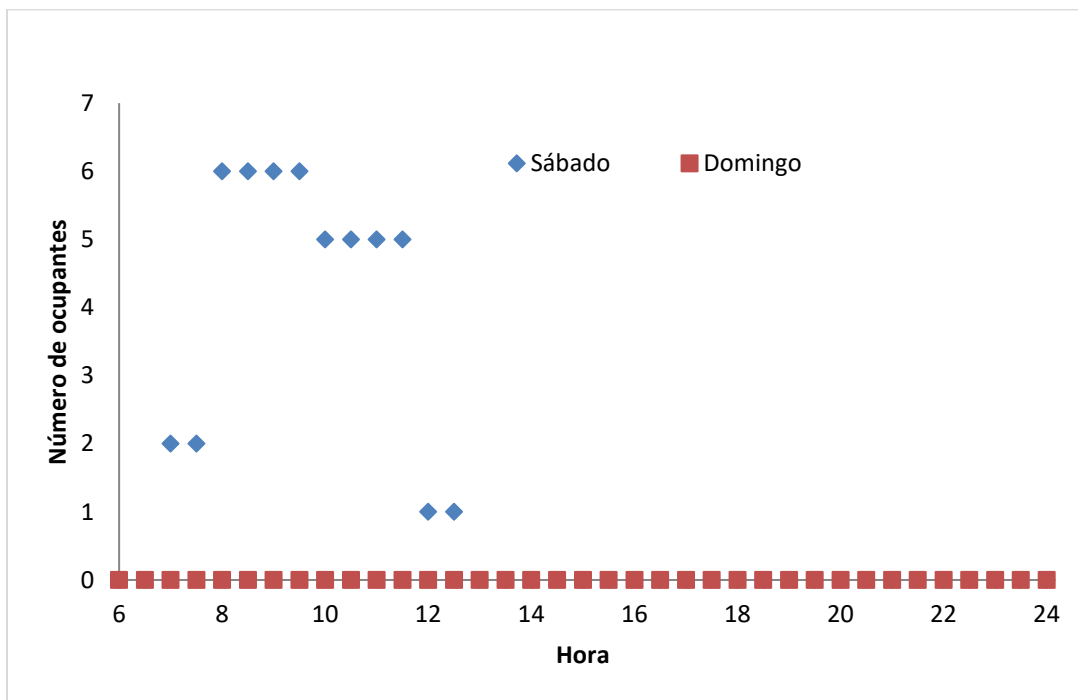


Figura 19. Ocupación total fines de semana

Se encuentra que el día sábado tiene una ocupación mayor entre las 8:00 hasta la 9:30 horas, seguido de las 10:00 a 11:30 horas, pero a partir de esa hora la ocupación se reduce hasta llegar a cero, como el día domingo, lo cual es de esperarse dado que en esos horarios

no se prestan servicio del parque I. Se observa además que comparando la figura 19 con la figura 18, hay reducción del 90% en los niveles de ocupación máxima, por lo cual los consumos de energía deberán ser menores en estos días también, dado que la ocupación es significativamente menor que para los días de la semana, lo cual se comprobó en el consumo global de energía.

4.3 Adquisición de datos por medición automática:

En la figura 20, se presenta el consumo de energía global por medición automática.

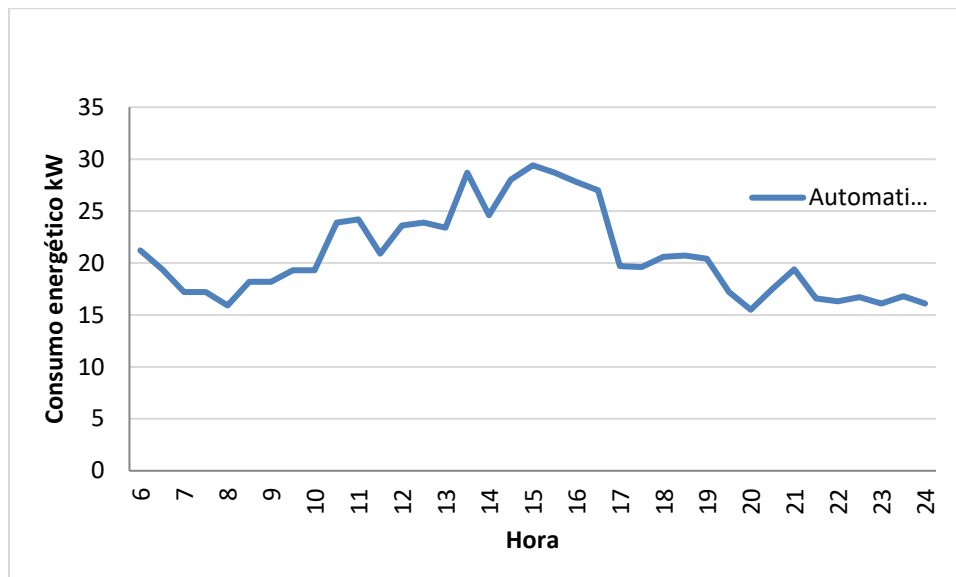


Figura 20. Consumo global por medición automática

Para la figura 20, se tomaron los datos del consumo de energía global del tablero del circuito principal, el cual se relaciona con las cargas del aire acondicionado, sistema de iluminación y otros equipos del parque i. Estos datos fueron procesados en Excel con el objetivo de obtener líneas de tendencia para dicho consumo en un día específico, dado que no fue posible acceder a los datos para todos los días. Para el análisis se realizó una gráfica teniendo como lapso de tiempo 30 minutos.

En la curva se observa que el consumo global alcanza un pico de 29,4 kW/h a las 15:00 horas y un mínimo de 15,5 entre 2 momentos del día los cuales son a las 8:00 y a las 20:00 horas

debido a que en este tiempo es cuando se encuentra la menor cantidad de personal en las instalaciones.

4.4 Procesamiento y análisis de datos:

En la figura 21, se presenta la comparación del consumo de energía global por medición automática y la realizada por medio de encuestas. Para realizar una comparación, se realizó una aproximación de consumo diario para el consumo global por encuesta, a partir de los datos obtenido en la figura 17.

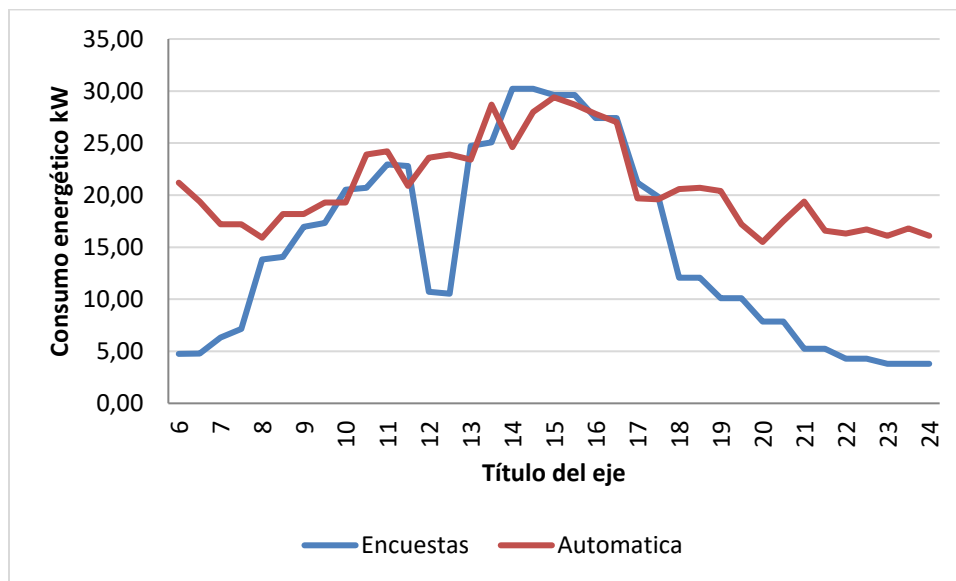


Figura 21. Consumo global por encuestas y medición automática.

Al comparar las gráficas de consumo por encuesta y medición se encuentra que tienen un comportamiento similar en las 7:30 y 11:30, y las 13:00 y 17:30 horas, presentando en los rangos anteriormente mencionados comportamiento similar en sus picos de demanda; estos consumos se presentan en los horarios más representativos de la jornada laboral. Las diferencias de mayor consideración entre los dos métodos de estimación del consumo de energía global se presentan en los extremos iniciales y finales de las jornadas laborales, esto

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

dado que el tipo de servicio que presta la edificación terciaria bajo análisis permite a sus trabajadores controlar los horarios de ingreso y salida, por lo cual se hace difícil estimar los consumo en estos horarios.

Una gran diferencia entre los dos métodos de estimación de demanda se presenta entre las 11:30 y las 13:00 horas, este rango de tiempo representa la hora de receso de la jornada laboral, en la cual gran porcentaje de los encuestados afirmaron la no utilización de las diferentes cargas cuando no se encuentran dentro de la edificación; la medición automática desmiente esta afirmación y muestra que en estas horas son pocas las personas que cumplen con lo afirmado.

A partir de los resultados obtenidos en la estimación por encuesta, se encontró que la mayor demanda de la edificación se halla en la iluminación con una participación del 30,4%, la cual representa el porcentaje más alto, seguido por los equipos de cómputo con un el 29,4%, continúan los equipos especiales con un 22,2% y culmina el aire acondicionado con un 18% de participación.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

conclusiones:

Teniendo en cuenta que las edificaciones terciarias son reconocidas como una de las principales consumidoras de energía en el mundo como se plantea en el marco teórico, se logró reconocer e interpretar sus componentes para lograr un análisis no solo estructural si no también funcional de este tipo de edificaciones.

A partir de la realización de encuestas en la edificación se logran obtener los perfiles de consumo de cada una de las principales cargas de la edificación (HVAC, iluminación y equipos enchufables), con lo cual se puede identificar los principales nichos de consumo y los horarios en que estos ocurren.

La realización de la medición automática del consumo eléctrico global permite validar la medición por estimación, e identificar las horas en que el consumo energético es difícil de estimar por estos métodos dadas las condiciones operativas de la edificación.

Se valida como el factor de ocupación de la edificación afecta directamente el consumo energético de esta, igual como la curva horaria de ocupación tiene una un comportamiento similar a la curva de consumo energético global.

Este documento ofrece una metodología para la medición y análisis del consumo global en edificaciones terciarias, la cual ofrece dos tipos de medición, uno por estimación y otro por medición directa, los cuales fueron validados y ofrecen una buena aproximación a al consumo

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

global, con los cual los administradores o propietarios pueden realizar una estimación del consumo energético de su edificación.

Trabajo futuro:

Como trabajo futuro se plantea la aplicación del protocolo de medición de la demanda de energía eléctrica para la implementación de un sistema de gestión de la energía que permita evaluar el estado energético de las instalaciones terciarias bajo diferentes escenarios.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

Baladron, R. (2013). Auditoria energetica de un edificio terciario : Residencia de mayores.

Barnes, E., & Parrish, K. (2016). Small buildings, big impacts: The role of small commercial building energy efficiency case studies in 2030 districts. *Sustainable Cities and Society*, 27, 210–221. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.05.015>

Center for sustainable system. (2016). *Commercial buildings*, 42(November), 4–5.

El sector terciario y los objetivos de eficiencia energética. (n.d.).

Hong, T., Piette, M. A., Chen, Y., Lee, S. H., Taylor-Lange, S. C., Zhang, R., ... Price, P. (2015). Commercial building energy saver: An energy retrofit analysis toolkit. *Applied Energy*, 159, 298–309. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.09.002>

Instituto Tecnológico de Galicia. (n.d.). Ahorro y eficiencia energética en el sector servicios, 1–127.

Juaidi, A., AlFaris, F., Montoya, F. G., & Manzano-Agugliaro, F. (2016). Energy benchmarking for shopping centers in gulf coast region. *Energy Policy*, 91, 247–255. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.01.012>

Julio, C. (2012). Màster en ingeniería de la Energía.

Kim, Y.-S., & Srebric, J. (2017). Impact of occupancy rates on the building electricity consumption in commercial buildings. *Energy and Buildings*, 138, 591–600. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.056>

Kramer, R. P., Maas, M. P. E., Martens, M. H. J., van Schijndel, A. W. M., & Schellen, H. L. (2015). Energy conservation in museums using different setpoint strategies: A case study for a state-of-the-art museum using building simulations. *Applied Energy*, 158, 446–458. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.08.044>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Sàez, F. (1990). Ofimatica completa.

Santiago, K., & Vazquez, J. (2016). The role of small commercial buildings in achieving energy efficiency: Case study results. *Procedia Engineering*, 145, 1470–1477.

<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.185>

Superior, E. P., Carlos, J., & Prada, G. (2011). Departamento de ingeniería mecánica estudio y diseño del sistema de iluminación de un centro de uso general.

Tilley, R. J. D. (2010). Colour and the optical properties of materials.

<https://doi.org/10.1002/9780470974773>

Torrella, E. (2002). Sistemas de climatización.

Torrella, E. (2015a). Otros procedimientos de tratamiento localizado. *Sistemas Todo Agua*, 1–7.

Torrella, E. (2015b). *Sistemas todo refrigerante*, 1–3.

Turner, W. C. (2007). *Energy management handbook (Sixth Edit)*.

U.S Energy Information Administration. (2016). *Building type definitions*.

Ürge-Vorsatz, D., Eyre, N., Graham, P., Harvey, D., Hertwich, E., Jiang, Y., ... Tirado Herrero, S. (2012). Energy end use: Buildings. *Global Energy Assessment: Toward a Sustainable Future*, 649–760. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511793677.016>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

APÉNDICE

A. Anexo 1.

En la Tabla 9, se presenta una muestra de la encuesta entregada a cada usuario del laboratorio para su diligenciamiento.

Tabla 9. Planilla de encuestas de los laboratorios

1	<i>Nombre</i>								
	<i>Espacio</i>								
	<i>Tipo de usuario</i>								
HORARIOS									
			Lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	sábado	domingo
Trabajo	Entrada		9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	No aplica	No aplica
	Salida		21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	No aplica	No aplica
	Total		12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	No aplica	No aplica
Receso	Entrada		12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	No aplica	No aplica
	Salida		13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	No aplica	No aplica
	Total		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	No aplica	No aplica
Sistema de iluminación					Equipos de cómputo				
	Número de luminarias ligadas al puesto de trabajo	Tiempo promedio de operación diaria (horas)	Uso de iluminación natural	Percepción del sistema de iluminación	Número de equipos de cómputo utilizados		Tiempo estimado de operación por equipo (horas)	Uso de los modos de ahorro	
	6	Toda la permanencia	No	Buena	De torre	0	No aplica	No aplica	
					Portátil	1	Toda la permanencia	Sí	
Sistema de aire acondicionado					Equipos de especiales				
	Rango de temperatura (°C)	Tiempo estimado de operación diaria (horas)	Uso de ventilación natural	Percepción del sistema de aire acondicionado	Equipos especiales utilizados	Frecuencia de uso			
Máximo	24	13	No	Buena	No aplica	No aplica			
Mínimo	23								

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES

Doverney Lozano P. _____

Andrés Mejía _____

FIRMA ASESOR

Juan Fernando Morales
Revisión final 01/09/2017

FIRMA CO-ASESOR

[Signature]
Revisión final 01/09/2017

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO _____

ACEPTADO _____

ACEPTADO CON MODIFICACIONES _____

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACTA NO. _____
FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____
ACTA NO. _____
FECHA ENTREGA: _____