

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingeniería

**Medición y Monitoreo en Tiempo Real y Análisis de Datos
del Consumo Energético en la biblioteca de la USFQ
Propuesta metodológica**

Gabriel Esteban Ávila Martínez

Ingeniería en Sistemas

Trabajo de titulación presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero en Sistemas

Quito, 20 de diciembre de 2017

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Medición y Monitoreo en Tiempo Real y Análisis de Datos del Consumo
Energético en la biblioteca de la USFQ**

Gabriel Esteban Ávila Martínez

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Firma del profesor

Quito, 20 de diciembre de 2017

Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante:

Nombres y apellidos:

Gabriel Esteban Ávila Martínez

Código:

00110856

Cédula de Identidad:

1720489952

Lugar y fecha:

Quito, 20 de diciembre de 2017

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, mi guía espiritual, mi camino, mi fortaleza...
Agradezco a mis padres, por su constante sacrificio y la educación que me han brindado, por el amor que me dan a diario, por la motivación en cada capítulo de mi vida; a mis hermanos, por su compañía y sus enseñanzas; a mis otros familiares, por quererme tal y como soy, con mis defectos y errores; a mis amigos, los que siempre están ahí, los que me impulsan a ser mejor.
Agradezco a mi director, Aldo Cassola, por brindarme su tiempo, su apoyo en todo momento y su paciencia; y a todas aquellas personas que me ayudado en algún momento de mi vida a no rendirme.

DEDICATORIA

Todo el esfuerzo plasmado en este trabajo se lo dedico a mis padres y hermanos, por todo el tiempo y apoyo incondicional; a mis abuelos, por su inmensa fe en mí; a mis amigos, por sacarme una sonrisa.
Dedico a este trabajo a mi yo futuro, para siempre recordarme por qué estoy aquí, por lo que fue, por lo que es, por lo que será...

RESUMEN

La evolución de la tecnología en nuestro mundo ha traído consigo repercusiones tanto positivas como negativas. En el ámbito del uso de la misma para el bien común, la domótica e inmótica han surgido para servir nuestra necesidad de confort y seguridad, pero también como respuesta al calentamiento global y el cambio climático, todavía sin solución definitiva. La concientización respecto al impacto ambiental ha permitido el desarrollo de tecnologías que aprovechan dichos problemas y necesidades. La tecnología LED se ha enfocado en la búsqueda de la eficiencia energética mientras ha mantenido al mismo tiempo un balance precio / calidad. A partir de esto, se conoce que hay la necesidad de medir el consumo generado por esta tecnología, para medir el impacto que puede o no tener tanto a nivel energético como económico. Usando un software para adquisición y visualización de datos, se puede aplicar técnicas de analítica y minería para generar conclusiones pertinentes. En este trabajo se expone la metodología que se ha seguido para medir el consumo energético en un área muestral de la biblioteca de la USFQ con luces LED, con el objetivo de determinar si existe un ahorro a nivel de luminarias respecto a los datos de consumo generados previo a la instalación de estas luces. Se determinó que el ahorro promedio por luminaria en la zona de prueba es de 37.5%, estimando así un ahorro económico implícito de \$96.87 mensuales en el área muestral, que representa un aproximado del 10% de las luces en biblioteca. Estos datos corresponden a una nueva aproximación para poder tomar decisiones respecto a la implementación de políticas de ahorro energético en la universidad, que no solamente dependen del consumo energético en sí, sino también con la cultura social de los miembros de la comunidad USFQ.

Palabras clave: tecnología, domótica, inmótica, eficiencia energética, LED, adquisición de datos, visualización, minería de datos, analítica, cultura social.

ABSTRACT

The evolution of technology in our world has had both positive and negative repercussions. Regarding its use for the common good, home automation (domotics) and inmotics have emerged to serve our need for comfort and security, but also as a response to global warming and climate change, still without definitive solution. Awareness of the environmental impact has allowed the development of technologies that take advantage of these problems and needs. LED technology has focused on the search for energy efficiency while maintaining a price / quality balance at the same time. From this, it is known there is a need to measure the consumption generated by this technology, to measure the impact it may or may not have at the energy and economic levels. Using software for data acquisition and visualization, analytics and data mining techniques can be used to generate relevant conclusions. This document presents the methodology that has been followed to measure energy consumption in an area of the USFQ library with LED lights, to determine if there is any savings at the luminaire level with respect to the consumption data generated prior to the installation of these lights. It was determined that the average saving per light in the test area is 37.5%, thus estimating an implicit economic saving of \$96.87 per month in the total sample area, which represents approximately the 10% of the total lights in the library. These data correspond to a new approach to make decisions regarding the implementation of energy savings policies in the university, which depend not only on energy consumption *per se*, but also with the social culture of the members of the USFQ community.

Key words: technology, domotics, inmotics, energy efficiency, LED, data acquisition, visualization, data mining, analytics, social culture.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	10
Reflexiones y consideraciones sobre la tecnología	10
Hacia la eficiencia energética y el análisis de datos	11
Desarrollo del Tema.....	13
Antecedentes, justificación e importancia del proyecto	13
Metodología	15
Fase primera.....	17
Ubicación de paneles eléctricos.	17
Categorización sectorial de brakers y mapeo de disposición de luces.....	18
Fase segunda.....	20
Análisis de fichas técnicas y consumo teórico.....	20
Selección de equipos.....	21
Fase tercera.....	23
Selección de área muestral para prueba.	23
Configuración de equipos y software.	23
Reporte y visualización de datos.....	27
Análisis de datos.	28
Cálculo de porcentaje de ahorro.	30
Trabajo futuro.....	32
Conclusiones	33
Referencias bibliográficas	36
Anexo 1: Áreas en biblioteca.....	38
Anexo 2: Esquema de disposición de luces	39
Anexo 3: Equipos de TED	40
Anexo 4: Panel eléctrico y zona muestral	41

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. Resumen de áreas de aplicación por panel eléctrico.....	17
Tabla 2. Categorización de brakers en Panel 3	19
Tabla 4. Categorización de brakers Panel 6.....	19
Tabla 5. Categorización de brakers Panel 7.....	20
Tabla 6. Consumo teórico de LED vs. Consumo teórico de luminaria preexistente	20
Figura 1. TED Installation Utility	24
Tabla 7. Estadísticas de la unidad MTU	24
Figura 2. Interfaz de usuario	25
Figura 3. Conexión de CTs a unidad Spyder	26
Figura 4. Funcionamiento del sistema	26
Figura 5. Conexión del sistema.....	27
Figura 6. Gráfica en tiempo real de la unidad MTU	27
Figura 7. Función promedio Python	28
Tabla 8. Valores para la unidad MTU	29
Tabla 9. Valores para el braker 8 a partir de la unidad Spyder.....	30
Tabla 10. Resultados de ahorro en zona de prueba.....	31

INTRODUCCIÓN

Reflexiones y consideraciones sobre la tecnología

La tecnología, un término que ha estado presente en casi todos los aspectos de nuestra vida, ha sido definida desde enfoques diversos y actualmente tiene acepciones varias. Podría considerarse como un conjunto de conocimientos técnicos y científicos aplicados a un entorno específico o como el resultado del aprovechamiento de dicho conocimiento (Osorio, 2002). Se podría decir que un complejo sistema computacional es una herramienta tecnológica, pero un simple aparato mecánico pudo también haber sido el resultado de mucha tecnología. En fin, los vocablos griegos *téchnē* y *lógos* se encargaron de dar origen a este denominado “conjunto de saberes” (RAE, 2017). Tecnología, entonces, es el arte, la técnica, o la manera de hacer las cosas, de construir artefactos que satisfagan nuestras necesidades como personas y comunidades, mediante la aplicación de conocimientos.

En nuestro mundo actual, la globalización, la competitividad en el mercado, y nuestra sed de llegar más lejos nos obligan a producir nuevas tecnologías de calidad, enfocadas en nuestra comodidad y seguridad. Los satélites pueden leer nuestra ubicación en cualquier parte del mundo, y los microcomponentes electrónicos han abierto un nuevo mundo de posibilidades en una escala que supera nuestro entendimiento. Sin embargo, esta visión no siempre ha traído consigo resultados positivos. El mal uso de la tecnología puede transformarse en adicción. No suena tan preocupante hasta que el ocio saludable se convierte en problemas más serios como accidentes de tránsito por distracción, sustitución de actividades en nuestros horarios, aislamiento personal, enfermedades de la vista, entre otras. Por otro lado, en el pasado, el éxito del Proyecto Manhattan puso fin a la Segunda Guerra Mundial, pero ¿cuál fue el precio? Las bombas atómicas aniquilaron a cientos de miles de personas, sin contar los daños materiales y medioambientales que también resultó de ello. Debemos tener en cuenta que la historia es la

mejor maestra, pero en nuestro presente no existe todavía una franca tendencia a considerar el valor de la vida como lo más importante.

Dejando de lado estas consideraciones, el mundo actual no sería posible sin el papel que ha tenido la tecnología en nuestras vidas. Un claro ejemplo viene de la mano con el desarrollo de las redes de comunicación, que ha permitido que todos estemos interconectados. La tecnología, entonces, representa inteligencia, debiendo ésta ser mayor mientras más poder se tenga para construirla. Nuestra capacidad de razonamiento respecto a su uso debe siempre considerar el potencial que tenga la misma, ya sea positivo o negativo. Así, es imperativo ver al desarrollo de la tecnología como un proyecto en sí. Por definición, ésta requiere, de los siguientes elementos: responsabilidad, para saber reconocer la existencia de un problema que entra en conflicto con una necesidad y poder concebir una idea; creatividad, para pensar en una solución; planificación, para poder determinar las actividades necesarias que cumplan con los objetivos del proyecto; habilidades y destrezas, para guiar los esfuerzos que lleven al éxito del mismo; y resultados, para traer un cambio al mundo (ABC Digital, 2003).

Hacia la eficiencia energética y el análisis de datos

En el ámbito de la tendencia creciente hacia la concientización por el calentamiento global y el cambio climático en general, avances en materias de eficiencia energética han surgido como respuesta a un problema todavía sin solución definitiva. El ahorro en consumo energético resulta sumamente importante cuando se quiere reducir tanto gastos económicos como contaminación medioambiental. Lo sustentable, en referencia a la utilización mantenida de recursos, y lo sostenible, relacionado a la eficiencia y la consideración a largo plazo, han permitido generar una cultura respecto al uso de la tecnología para el bien común (López, López & Ancona, 2005, pp. 5). Es en este ámbito donde surge la domótica e inmótica, dos ramas que prometen proporcionar cierto nivel de automatización y, según Huidrobo y Millán (2004), “con el objetivo de asegurar al usuario un aumento del confort, la seguridad, el ahorro

energético [...]” (citado en Domínguez & Sáñez, 2006, p. 16), además de muchas otras posibilidades por explorar. En términos más amplios, ambas engloban las tecnologías que permiten automatizar y controlar las viviendas e inmuebles, y buscan el manejo eficiente del consumo de energía, mientras se enfocan en la comodidad de los seres humanos (Culmen Proyectos, 2017).

Los diseños de estos sistemas automatizados programables¹ pueden basarse en la generación de procesos que acompañen a las actividades de los habitantes del hogar, trabajadores de la oficina, etc., así como por ejemplo el encender un foco automáticamente y/o cambiar su intensidad de acuerdo a la hora del día. Por esto, una de las áreas más rentables en domótica e inmótica es la iluminación. Existen actualmente tecnologías disponibles que permiten aprovechar estas necesidades, así como los LEDs, “diodos que emiten luz cuando la corriente pasa a través de los semiconductores” (Illuminet, 2011), mismos que permiten reducir el consumo de electricidad por el manejo eficiente del calor.

A partir de esto, entonces, se deduce que es necesario tener la capacidad de medir este consumo, para poder determinar con mayor precisión en qué términos se está dando el ahorro energético, que puede también ser visto como ahorro económico. Una de las soluciones se encuentra en la minería de datos que, según Frawley, Piatetsky y Matheus (1992), es “[la extracción no trivial de información implícita, previamente desconocida y potencialmente útil a partir de los datos]” (citado en Neagu, Grigoras, Scarlatache, Schreiner & Ciobanu, 2017). Específicamente, a través de técnicas de analítica², así como la medición, monitoreo en tiempo real, procesamiento y reporte de datos (Blancas, 2015), se puede comprender el poder de esta información de consumo y concluir respecto a qué decisiones tomar frente a un plan de ahorro energético, como se trataría en este caso.

¹ Los sistemas programables están en inmuebles inteligentes, refiriéndose al conjunto de casas, oficinas y edificios con esta característica.

² La analítica o el análisis en extensión, y en el ámbito tecnológico, engloba las herramientas que se pueden usar para analizar datos.

DESARROLLO DEL TEMA

Antecedentes, justificación e importancia del proyecto

En 2016, Eréndira Cárdenas y Sofía Villacreses presentaron su *Estudio Piloto del Consumo Energético de la Universidad San Francisco de Quito* como requisito para su titulación en Ingeniería Electrónica. En este documento se detalla información sobre los equipos de mayor consumo en la universidad, con algunas fallas eléctricas existentes, y se da una propuesta de soluciones óptimas para contribuir con el deseo de la USFQ de implementar un plan de ahorro energético. Se conoce, de acuerdo con Báez (2011), que “las fuentes lumínicas representan el 44% del consumo energético de la Universidad, ya que existe un gran desperdicio en el uso de éstas” (citado en Cárdenas & Villacreses, 2016). Se determinó, entre otros datos, que en la USFQ se gasta un aproximado de 5 veces más energía eléctrica por estudiante que en otras universidades y, específicamente, este consumo se da en mayor parte en las áreas de biblioteca y cocinas.

Después de estudiar con detenimiento este documento, para propósitos del presente trabajo se encontró que una de las soluciones propuestas más interesantes fue la de “colocar sensores de presencia para controlar la iluminación [...]” (Cárdenas & Villacreses, 2016). En un principio se analizó que, debido a que tanto biblioteca como el área de cocina son espacios muy reducidos y transitados, esto no sería recomendable para comprobar que existe el ahorro energético. Una de las principales razones es que se requeriría un equipo de personas que esté realizando monitoreos constantes en períodos de tiempo muestrales para estudiar cómo reaccionan los sensores en diferentes horas del día y frente a diversos parámetros, así como por ejemplo, en el caso de la biblioteca, el número de personas que transitan por la zona cada cierto tiempo, las personas que permanecen sentadas, las personas que están buscando libros, y una posible combinación de todos éstos, sin incluir cuestiones técnicas sobre la configuración de los sensores ni de normativas sobre cuántos sensores se permiten instalar en un mismo circuito

eléctrico interno, en qué rango de intensidades de luz deberían calibrarse, qué precisión manejan, etc. Así, otra de las soluciones interesantes encontradas fue la de implementar controladores para pasillos que se activen en relación al nivel de luz natural. Ésta es una buena propuesta, pero aquí venía otra vez la duda sobre cómo realmente medir el ahorro.

Tomando en cuenta dicho documento, para empezar el proyecto, la USFQ trabajó directamente con AIRIS, empresa española con oficina en Ecuador, cuya propuesta fue instalar “iluminación LED inteligente mejorando la imagen de su negocio y consiguiendo un menor consumo energético” (AIRIS Soluciones, 2017). Se decidió cambiar la luminaria existente en biblioteca por luces LED que trabajen concomitantemente con sensores de presencia y con una configuración específica³. La empresa concluyó que la universidad tendría valores de ahorro teóricos, y al momento de empezar con el presente trabajo, no se había realizado todavía ningún experimento para comprobar la validez de estos datos. Lo que se requería, en este caso, era que se instale un dispositivo que reciba datos periódicos de los distintos sensores y luces que se utilicen, para así poder emitir reportes reales a quien concierna. Con esto, a nivel administrativo, se podría tomar decisiones a futuro que pudieran resolver el problema de consumo energético en la USFQ, así como por ejemplo la determinación de una secuencia automática de control de luces que evite el control manual de las mismas en el circuito eléctrico.

Esta nueva propuesta de trabajo, entonces, vino de la mano con el monitoreo en tiempo real y el análisis de los datos del consumo eléctrico. Se hizo un análisis previo a la adquisición de un PLC para el área de biblioteca, siguiendo las recomendaciones del Departamento de Planta Física de la universidad, y justificándose en las posibilidades que se obtienen al usar uno de estos equipos. Según ABC Electronics, “el PLC es un dispositivo electrónico que puede ser programado por el usuario y se utiliza en la industria para resolver problemas de secuencias

³ La información más detallada se encuentra en el capítulo de Selección de equipos y Configuración de equipos y software. También, referirse al Anexo 4.

en la maquinaria o procesos, ahorrando costos en mantenimiento y aumentando la confiabilidad de los equipos” (2017). En términos más simples, la USFQ deseaba instalar un autómata diseñado para controlar, en tiempo real, procesos secuenciales. Además de esto, se realizó una comparación en su mayor parte cualitativa entre diferentes equipos de adquisición de datos (monitores de energía) a nivel comercial, para lo cual fue necesario un mapeo de los circuitos internos a nivel de luces y paneles eléctricos.

Un monitor de energía es “un dispositivo que ayuda a entender el consumo de electricidad [...]” (Weiner & Shonle, 2011). Este consumo se analiza usando los valores de potencia, principalmente⁴, de los LEDs instalados. Sin embargo, tanto el PLC como el monitor de energía eran dispositivos necesarios y no suficientes para cumplir con el propósito del proyecto. Se necesitaba, además, un software con el cual cualquier persona calificada pueda realizar reportes, análisis y conclusiones sobre los datos recibidos. Se encontró que el sistema TED Pro de Energy Inc. ofrecía las herramientas necesarias para aplicarlas sobre una zona muestral dentro de la biblioteca, para recolectar una cantidad altamente fiable de las fuentes y de manera consistente. Sin embargo, la universidad todavía tendrá que pasar por una serie de etapas antes de lograr el objetivo final de implementar una política general de ahorro.

Metodología

Previo al monitoreo y control de los datos, fue necesario realizar un mapeo del circuito eléctrico en biblioteca para determinar los sectores donde operarían los equipos y el sistema, puesto que, al momento de empezar el proyecto, se encontró que la universidad no poseía planos actualizados desde 1997, según Silvio León (comunicación personal, 2017), encargado

⁴ Potencia es la velocidad de consumo de energía (Friedman, Rice & McGinty, 1981, pp-141). Se mide en vatios (W). El consumo se mide en unidades de kWh (kilovatio-hora), aunque también se considerarán valores de corriente y voltaje.

Voltaje o potencial eléctrico es la energía potencial por unidad de carga colocada en dicho punto y se mide en voltios (V). Corriente o intensidad de corriente es la carga eléctrica que pasa por unidad de tiempo a través de una sección donde ésta fluye (Alonso & Finn, 1970).

del Departamento de Planta Física. Tomando esto en cuenta, la primera fase del proyecto consistió en los siguientes pasos:

1. Ubicación de paneles eléctricos
2. Categorización sectorial de *brakers* y mapeo de disposición de luces

Una vez determinadas las secciones de luces que se podrían monitorear y controlar, la siguiente etapa consistió en el análisis de los LEDs *per se*, para poder distinguir entre los diferentes tipos que se instalaron en biblioteca y conocer el consumo teórico individual de cada uno. Esto permitió sentar las bases para la selección de los monitores de energía a utilizar. Los pasos de esta segunda fase se enumeran a continuación:

3. Análisis de fichas técnicas y consumo teórico
4. Selección de equipos

Finalmente, la tercera fase consistió en la del monitoreo en tiempo real y análisis de los datos del consumo eléctrico en biblioteca, aplicando el trabajo previo que se ha listado y utilizando los equipos seleccionados. Esta etapa fue completada siguiendo estos pasos:

5. Selección de área muestral para prueba
6. Configuración de equipos y software
7. Reporte y visualización de datos
8. Análisis de datos
9. Cálculo de porcentaje de ahorro

Todos estos pasos listados se explicarán con mayor detalle en los siguientes capítulos y presentando los resultados pertinentes al caso.

Fase primera

Ubicación de paneles eléctricos.

Un panel eléctrico, también conocido como panel o tablero de servicio o distribución, es el centro de donde sale la alimentación de los circuitos eléctricos a través de conductores (Techlandia, 2017). Toda infraestructura requiere de un panel que permita el ingreso de energía desde la estación servicio público y su distribución a través de la misma por medio de un sistema de control⁵.

La biblioteca de la USFQ está conformada por las siguientes secciones⁶: en el primer piso están el área de recepción, salón de audiovisuales, espacio para la colección jurídica, computadoras de escritorio y mesas de trabajo personales; en el segundo piso se encuentran los baños, pasillos, computadoras de búsqueda para el catálogo digital, mesas de trabajo grupales, cubículos y estantes de libros más la hemeroteca; y en el tercer piso un salón de clases más un pasillo. Respecto a los paneles eléctricos, existe un total de 7 en biblioteca, los cuales serán nombrados y numerados en orden⁷. La siguiente tabla resume su ubicación y área de aplicación:

Piso	Panel	Área	Notas
1	Panel 1	Primer piso	Salidas tomacorrientes y alimentación segundo piso
1	Panel 2	Recepción, audiovisuales	Luces Colección Jurídica y alimentación segundo piso
1	Panel 3	Mesas personales	Luces controladas en segundo piso
2	Panel 4	Segundo piso	Alimentación tercer piso
2	Panel 5	Exteriores	Cámaras de ventilación
2	Panel 6	Hemeroteca	
3	Panel 7	Segundo y tercer piso	Luces segundo piso y salón tercer piso

Tabla 1. Resumen de áreas de aplicación por panel eléctrico

⁵ Refiriéndose aquí a los *brakers* como sistema de control.

⁶ Ver Anexo 1.

⁷ Para propósitos de este trabajo, en ningún panel eléctrico se toma en cuenta las salidas (*brakers* de control) a tomacorrientes ni equipos de potencia como ventiladores, elevadores o bombas para el cálculo del porcentaje de ahorro.

De todas estas secciones en biblioteca, las únicas específicas que hasta al momento no han sido intervenidas por AIRIS (no cuentan con los sensores LED) son la de la colección jurídica y la de audiovisuales.

Categorización sectorial de brakers y mapeo de disposición de luces.

Una vez ubicados los paneles eléctricos y habiendo determinado el funcionamiento principal de los mismos, se necesitó realizar un mapeo de los distintos circuitos eléctricos internos alimentados por cada panel, para conocer, en resumen, cuántas luces eran controladas por cada *braker* en los tableros. Esto provino de la necesidad de establecer si la disposición de luces en el circuito general cumplía con la normativa técnica de distribución⁸ para descartar peligros al momento de manipular los cables del circuito y/o conectar equipos, y también porque al conocer las especificaciones técnicas de los tipos de luces (sensores) en cada circuito interno, se podría reducir los cálculos al momento de analizar la diferencia entre los valores teóricos de consumo con los datos finales procesados⁹.

Para simplificar este proceso, se trabajó con Planta Física para analizar algunas de las posibles combinaciones de manipulación de *brakers*, con el fin de descartar la posibilidad de que algunos de éstos no estuvieran funcionando o enlazados a un circuito específico de maquinarias. Se hizo un esquema aproximado de la ubicación de los diferentes sensores y luces en el techo para delimitar las áreas de control de cada panel y, posteriormente, de cada *braker*¹⁰. Para todos los tableros mencionados en el capítulo anterior exceptuando los paneles 1, 2, 4 y 5, los resultados se han resumido en las siguientes tablas¹¹:

⁸ Según Silvio León y Fernando Erazo, la normativa técnica indica que cada *braker* podría alimentar entre 10 y 12 luces independientes (comunicación personal, 2017).

⁹ En otras palabras, la categorización sectorial permitiría tomar una muestra para la adquisición y monitoreo de los datos y simplificaría el proceso de cálculo para cumplir con el objetivo final del trabajo.

¹⁰ Ver Anexo 2.

¹¹ En referencia a las columnas en las tablas: Sección indica el área específica en biblioteca de aplicación del tablero, # Braker indica la posición del *braker* en el tablero, # Luces indica la cantidad de luces y sensores controlados por cada *braker*, y Tipo Luz indica el tipo específico de luz y/o sensor del # Luces controlados.

Sección	# Braker	# Luces	Tipo Luz
Computadoras y Mesas de trabajo personales	8	10	Panel 36 W
	10	2	Panel 36 W
	10	26	Foco Tipo Vela E14
	12	3	Panel 36 W
	12	26	Foco Tipo Vela E14
	14	12	Panel 36 W
	16	5	Panel 36 W

Tabla 2. Categorización de brakers en Panel 3

Sección	# Braker	# Luces	Tipo Luz¹²
Hemeroteca	9	8	Tubos T8 1200
	9	2 (2 c/u)	Bandeja con T8 1200
	9	1 (2 c/u)	Bandeja con T8 1200
	11	8	Tubos T8 1200
	11	1 (4 c/u)	Bandeja con T8 1200
	13	12	Tubos T8 1200
	15	8	Tubos T8 1200

Tabla 4. Categorización de brakers Panel 6

Sección	# Braker	# Luces	Tipo Luz
Estantes Exteriores Hemeroteca	1	12 (2 c/u)	Tubos T8 1200
Exteriores Hemeroteca	2,4	14	Panel 35 W
	5	16	Panel 35 W
	7	15	Panel 35 W
Computadoras Exteriores Xerox	8	8	Tubos T8 1200
Copiadora Xerox + Bodega	8	4 (3 c/u)	Tubos T8 1200
Estantes	9	14	Panel 35 W
Estantes Techo Bajo	11	6	Panel 35 W
Estantes	12	7	Panel 35 W
Estantes	13	4	Panel 35 W
Estantes Techo Bajo	14	6	Panel 35 W
Estantes	15	7	Panel 35 W
Cubículo 3	15	2 (3 c/u)	Tubos T8 1200
Pasillo Mesas Personales	16	7	Panel 35 W
Pasillo Mesas Grupales	17	3	Panel 35 W
Cubículo 4	17	2 (3 c/u)	Tubos T8 1200
Pasillo Reordenamiento de Libros	18	16	Panel 35 W
Pasillo Mesas Grupales	19	5	Panel 35 W
Pasillo Computadoras de Búsqueda	20	11	Panel 35 W
Pasillo Mesas Grupales	21	6	Panel 35 W
Cubículo 1	21	2 (3 c/u)	Tubos T8 1200
Pasillo Mesas Grupales	23	3	Panel 35 W
Cubículo 2	23	2 (3 c/u)	Tubos T8 1200

¹² La instalación de los tubos T8 1200 se hizo por 2, por 3 y por 4 tubos en un mismo grupo denominado “bandeja”, por lo que en la columna de # Luces se puede encontrar la referencia a cuántos tubos hay por bandeja.

Estantes Exteriores Hemeroteca	24	4 (2 c/u)	Tubos T8 1200
Pasillo tercer piso	25	5	Panel 35 W
	30	6	Downlight (ojo de buey) DLS
Salón tercer piso	6,8,10,29	23	Panel 35 W

Tabla 5. Categorización de brakers Panel 7

Fase segunda

Análisis de fichas técnicas y consumo teórico.

La información respecto a las características de los distintos tipos de luces, incluida la configuración (programación) de los respectivos sensores incluidos en las mismas, fue proporcionada por AIRIS. Esta información fue útil para realizar un análisis comparativo entre la potencia teórica individual por cada LED instalado (tipos principales) y la potencia de cada luminaria preexistente antes de la instalación de dichos LEDs. Los resultados se presentan en la Tabla 6 (se ha resaltado las entradas correspondientes a los tipos de luces Panel 36W y Foco Tipo Vela)¹³:

Luminaria	Cantidad total	Cantidad zona	Potencia teórica (W)	Cantidad preexistente	Cantidad preexistente en zona	Potencia promedio (W)
PAR 20	4	0	7.5	4	0	60
Tipo Vela E14	52	52	4	53	53	45
Tubos T8 1200 ¹⁴	216	0	9	142	0	37
Panel 35W	148	0	24	173	0	37
Panel 36W	32	32	24¹⁵	64	64	32
Downlight DLS	18	0	9	18	0	52

Tabla 6. Consumo teórico de LED vs. Consumo teórico de luminaria preexistente

¹³ Para los nombres de columnas: Luminaria son los nombres de los tipos de luces LED instalados, Cantidad total es el número de luces instaladas en toda la biblioteca, Cantidad zona es el número de luces instaladas en la zona muestral únicamente (si hubiera), Potencia teórica es el valor teórico brindado por AIRIS, Cantidad preexistente es el número de luces preexistentes en biblioteca en la zona de instalación de los LEDs, Cantidad preexistente en zona es el número de luces preexistentes en la zona muestral (si hubiera), y Potencia promedio es el valor real de las luces preexistentes. Notar que los valores de potencia son por luz y no el total.

¹⁴ En referencia a los tubos T8 1200, la instalación se hizo por 2, por 3 y por 4 tubos en un solo conjunto llamado "bandeja". Ver nota al pie # 12 y Tabla 4.

¹⁵ Parece incongruente tener una potencia teórica de 24W por cada panel de 36W (33% de diferencia). La razón es que dicho panel está configurado en biblioteca a un nivel menor de dimado (luminosidad), lo cual reduce su consumo a este valor.

En referencia a la Tabla 6, es interesante notar que, tanto para los LEDs tipo Vela como para los paneles de 36W, el número total de luces instaladas en biblioteca corresponde al número de luces en la zona de prueba. Esto permite apuntar que el cálculo de ahorro en la zona muestral para este tipo de luces estará cubierto al 100%. Esto indica, entonces, que la precisión del cálculo de ahorro que se determinará depende exclusivamente del tipo de luminaria preexistente en esta zona muestral. Ahora, otro dato a tomar en cuenta es que la potencia promedio por luminaria preexistente, en el caso del panel de 36W, es menor al valor de potencia por LED. Sin embargo, la relación entre número de luminaria preexistente y número de LEDs es de 2 a 1.

Selección de equipos.

Conociendo que era necesaria una estimación del consumo individual de cada luminaria, de acuerdo con Xavier Borja (citado en Báez, 2011), se requería encontrar un equipo de adquisición de datos que permitiera registrar valores de potencia de las 3 fases del panel (dentro de los cuales se encuentran potencia activa, potencia aparente, consumo por hora y factor de potencia)¹⁶, además de valores más precisos para determinar el consumo por *braker*. Aparte de esto, se consideró que un equipo con protocolo de comunicación TCP/IP podría resolver de manera más sencilla la transmisión de datos en tiempo real para la visualización de los datos y para tener un ambiente de control en una red local¹⁷. Se encontró que TED Pro System 400 y TED Spyder 60 cumplían con estos requisitos. Los componentes necesarios para la instalación del sistema fueron¹⁸:

¹⁶ Todos los paneles eléctricos en biblioteca son tri-fásicos.

Conceptos: la potencia activa es la potencia que realmente se aprovecha como útil (proviene de las fuentes lumínicas resistivas), la potencia reactiva es la potencia que fluctúa en la red debido a la carga inductiva o capacitiva del equipo (proviene de bobinas o condensadores, pero no se aplica, en general, en este trabajo), la potencia aparente es la potencia total, y el factor de potencia es la relación entre potencia activa y potencia aparente.

¹⁷ O red LAN, es una red de equipos interconectados dentro de un área geográfica pequeña (Vialfa, 2017).

¹⁸ Todos estos datos fueron tomados del manual de instalación del sistema (Energy Inc., 2017). Ver Anexo 3.

1. 1 MTU (TED3000). Siglas para Measuring Transmitting Unit. Es una unidad de adquisición de datos que se utiliza en conjunto con los transformadores de corriente (CTs) (diseñado para 3 fases) para transmitir hacia el ECC. Se alimenta desde las fases del panel. También permite visualizar las estadísticas del estado de las fases del panel.
2. 3 CTs (400A). Siglas para Current Transformers. Cada uno es un gancho que funciona como transductor, “dispositivo que transforma el efecto de una causa física [...] en otro tipo de señal” (RAE, 2017). En este caso, el gancho permite transformar el campo magnético inducido por la corriente (en unidad de Amperios [A]) que circula por la fase del panel a la que está conectado el mismo. Por cada fase, permite un flujo de hasta 400A.
3. 1 ECC (TED6000). Siglas para Energy Control Center. Es un dispositivo que permite procesar, almacenar, visualizar y transmitir los datos en tiempo real. Se alimenta desde un tomacorriente de pared normal.
4. 1 Spyder. Es una unidad de adquisición de datos, similar a la unidad MTU, pero que funciona en conjunto con CTs de menor amperaje para medir el consumo por *braker*. Puede tomar datos de hasta 8 CTs por unidad. Se alimenta a través de la unidad MTU.
5. 4 CTs (60A). Son ganchos de hasta 60A que se conectan a la unidad Spyder.
6. 3 Patch Cord (cable UTP CAT 5). Son los cables propios para la comunicación a través de los puertos Ethernet¹⁹. Se necesitó 1 para cada equipo (computadora, MTU y ECC), y se conectaron al switch en el otro extremo.
7. 1 Switch. También llamado conmutador, es un dispositivo encargado de la interconexión de equipos en una red y con el estándar Ethernet (González, 2017). En este caso, permitió conectar a las unidades MTU y ECC con la computadora.

¹⁹ Es un estándar de la IEEE (Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica) para la transmisión de datos en redes LAN (Vialfa, 2017).

Fase tercera

Selección de área muestral para prueba.

Debido a que los paneles eléctricos en biblioteca están muy separados unos de otros, y se quería evitar al máximo cargas fantasmas²⁰ y otro tipos de carga de naturaleza reactiva como ordenadores, equipos de ventilación, entre otros, se necesitaba ubicar un panel eléctrico cuyos *brakers* estén destinados exclusivamente a la alimentación de luces. Como se puede observar en la Tabla 3, el Panel 3²¹ posee 4 *brakers* con un promedio de 9 luces (paneles 36W) por cada *braker* (para posiciones 8, 14 y 16) o con un promedio de 1 a 2 luces (paneles 36W) y 26 focos (tipo vela) para el resto (posiciones 10 y 12). Esto permite comparar los datos a nivel de *brakers* al momento de calcular la diferencia entre valores teóricos y reales de consumo. Otro valor a considerar es que el horario de actividad de la biblioteca es de 14 horas (en lunes a viernes) y 9 horas (sábados). Se estimará el cálculo usando un periodo de actividad de 12 horas.

Configuración de equipos y software.

La instalación y configuración de los equipos se hizo como sigue:

1. Primero, se controló que los *brakers* del Panel 3 estén apagados. Se colocaron los CTs, uno en cada fase, y se verificó que el gancho del CT esté completamente cerrado y tenga movimiento respecto al espacio entre fases. Se conectaron los CTs a la unidad MTU.
2. Se seleccionaron los *brakers* 16, 18 y 20 del panel con la línea neutral para dar poder a la unidad MTU. Los mismos *brakers* no superaban cada uno los 30A recomendados por TED para evitar sobrecargas en el equipos. Se nombraron las fases, de izquierda a derecha, como A, C y B, para identificación posterior. Una vez prendidos los *brakers*,

²⁰ Como la que existe por ejemplo cuando se conectan cargadores de batería al tomacorriente, pero sin conectar al dispositivo o equipo.

²¹ Ver Panel y sección de biblioteca en Anexo 4.

se conectó el patch cord a un puerto del switch, con el otro extremo conectado a la unidad MTU.

3. Para verificar la operación de la unidad MTU, se conectó la computadora a uno de los puertos del switch. Se utilizó el programa TED Installation Utility (Figura 1) para verificar el reconocimiento de la unidad MTU en la red. Al acceder al browser usando la dirección IP de la unidad²², se verificó la información de la Tabla 7.



Figura 1. TED Installation Utility

	FASE A	FASE C	FASE B
Voltaje (0.1 V)	1308	1318	1287
Corriente (0.1 A)	80	49	34
Potencia activa (W)	1096	499	443
Potencia aparente (VA)	1078	673	444
Factor de potencia (0.1 %)	1000	741	997
Consumo estimado (Wh)	19039,3006	4110,6168	4652,5258

Tabla 7. Estadísticas de la unidad MTU

Para tener control sobre los datos, los valores importantes a considerar fueron el promedio del factor de potencia entre las 3 fases (91.2 %), los valores de corriente para cada fase (8.0, 4.9 y 3.4 A), y la suma del consumo estimado (aproximadamente 27.8 kWh)²³ en todo el panel.

4. Se conectó el cable de poder del ECC al tomacorriente de la pared. Se verificó que la salida al tomacorriente pertenezca a la fase A, la cual se utilizó para conectar la unidad MTU, por recomendaciones de TED. Después, se conectaron los extremos del patch cord al switch y al puerto Ethernet del ECC. Se volvió a correr la aplicación de la Figura

²² Se ha borrado las direcciones IP y MAC de la figura por motivos de seguridad.

²³ Notar que 1kW = 1000W.

1, para reconocer la dirección IP del ECC en la red. Una vez abierto el browser, se desplegó la siguiente página:



Figura 2. Interfaz de usuario

Al ubicarse en la Figura 2, se puede notar que hay 3 secciones importantes de consideración, siendo las principales las columnas 2 y 3 de la gráfica (*Real-Time KW Usage* y *System Overview*). En la columna 3, un punto rojo con intermitencia indicó que la unidad MTU no estaba siendo reconocida. Esto se dio debido a que todavía no se realizaba el enlace con el ECC.

5. Se ubicaron y apagaron los *brakers* 8, 10, 12 y 14 (de máx 30A cada uno) del Panel 3 para identificarlos y usarlos como referencia al momento de medir el consumo utilizando la unidad Spyder. Tomando en cuenta que el *braker* 16 se utilizó para alimentar la unidad MTU, éste ya no se podía considerar para la medición de consumo por *braker*. Se colocaron los CTs de 20A en cada *braker*, así como se muestra en la Figura 3. Se conectó el extremo del cable de poder de la unidad Spyder a la unidad MTU. Se prendieron los *brakers* nuevamente.



Figura 3. Conexión de CTs a unidad Spyder

6. Para la configuración final, se asoció al ECC con la dirección IP de la unidad MTU, para reconocerlo como parte del mismo sistema, y se configuró la ubicación de los CTs conectados a la unidad Spyder. Una vez recargada la información en el *browser*, se confirmó el funcionamiento del sistema como se puede ver en la Figura 4. La conexión final de los equipos se ve en la Figura 5.



Figura 4. Funcionamiento del sistema

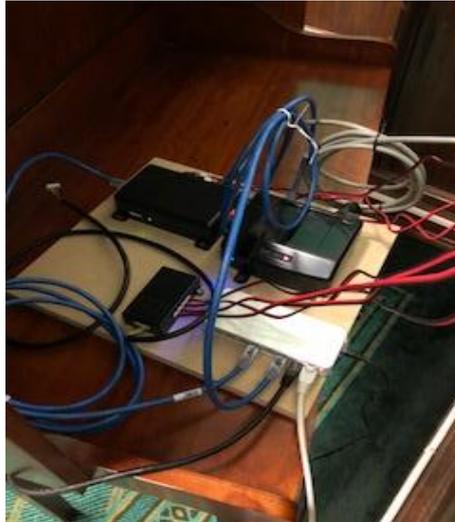


Figura 5. Conexión del sistema

Reporte y visualización de datos.

El monitoreo en tiempo real es posible gracias a la herramienta *Dashboards*, propia de TED System. En la zona muestral de la biblioteca de la USFQ, una gráfica configurada para la unidad MTU (midiendo las fases) con un límite de hasta 10 kW en el eje Y como referencia, y con datos del 16 de diciembre de 2017, a las 3:50pm puede verse en la Figura 6:



Figura 6. Gráfica en tiempo real de la unidad MTU

Al ubicarse en la figura anterior, se puede notar que existen 3 ejes de referencia en X, como son la potencia, el costo y el voltaje. En este proyecto no se ha determinado un valor

muestral para el costo, puesto que se pretendía determinar este costo por otros medios. También se puede notar que a esta hora del día 16 de diciembre, el consumo ha sido casi constante. La herramienta además, permite la descarga manual de archivos de datos con frecuencia de segundo, minuto, hora y día, para poder realizar los análisis que se requieran.

Análisis de datos.

Se tomó datos en un período de prueba de 1 mes, desde el 18 de noviembre al 18 de diciembre. Este período de prueba se seleccionó por dos razones: primero, la configuración de los equipos y la conexión del sistema no fue posible hasta esa fecha por la duración de la etapa preparativa de la Fase primera de este proyecto y, segundo, porque se quiso medir la variabilidad de consumo en un mes de transición (de noviembre a diciembre) para comprobar las tendencias de consumo explicadas en Cárdenas & Villacreses (2016).

Después de la descarga de archivos, se totalizó el número de registros (entradas por segundo, minuto, hora tanto para la unidad MTU como para la unidad Spyder) en 9332 para la unidad MTU, y 4347 para la unidad Spyder. Estos datos se procesaron usando funciones programadas en Python, “lenguaje de programación poderoso [...] con estructuras de datos eficientes y de alto nivel y un enfoque simple pero efectivo” (Van Rossum, 2009). La función en Python, para el promedio de un vector:

```
def average(vector):  
    assert len(vector) > 0  
    return float(sum(vector)) / len(vector)
```

Figura 7. Función promedio Python

Donde `len(vector)` calcula el número de elementos por vector (cada columna de valores de potencia es un vector), `assert` permite verificar que la longitud del vector sea mayor a 0, `sum(vector)` indica la suma de los elementos en el vector, y `float` es representación del valor como número decimal.

Una tabla de datos para la unidad MTU (mostrando 21 de aproximadamente 3000 datos limpios en una hora de prueba) se puede ver en la Tabla 8:

MTU	Time	Power (W)	Voltage (0.1 V)
MTU	12/16/2017 15:51:34	2026	1299
MTU	12/16/2017 15:51:33	2023	1300
MTU	12/16/2017 15:51:32	2017	1300
MTU	12/16/2017 15:51:31	2024	1300
MTU	12/16/2017 15:51:30	2028	1299
MTU	12/16/2017 15:51:29	2028	1299
MTU	12/16/2017 15:51:28	2033	1300
MTU	12/16/2017 15:51:27	2038	1300
MTU	12/16/2017 15:51:26	2033	1300
MTU	12/16/2017 15:51:25	2033	1300
MTU	12/16/2017 15:51:24	2036	1300
MTU	12/16/2017 15:51:23	2030	1300
MTU	12/16/2017 15:51:22	2031	1300
MTU	12/16/2017 15:51:21	2030	1299
MTU	12/16/2017 15:51:20	2032	1300
MTU	12/16/2017 15:51:19	2030	1300
MTU	12/16/2017 15:51:18	2035	1300
MTU	12/16/2017 15:51:17	2030	1300
MTU	12/16/2017 15:51:16	2024	1299
MTU	12/16/2017 15:51:15	2030	1299
MTU	12/16/2017 15:51:14	2030	1299

Tabla 8. Valores para la unidad MTU

Después del procesamiento de datos, se determinó que el consumo promedio por día es 28.04 kWh en todo el panel 3, frente a los 27.8 kWh estimados por el medidor. Para el caso del braker 8, un ejemplo de tabla se muestra a continuación (se muestran algunos datos en período de actividad alta y otros para período de actividad baja):

Spyder	Time	Power (W)
BR8	12/18/2017 19:59:00	220
BR8	12/18/2017 19:58:00	220
BR8	12/18/2017 19:57:00	220
BR8	12/18/2017 19:56:00	220
BR8	12/18/2017 19:55:00	220
BR8	12/18/2017 19:54:00	219
BR8	12/18/2017 19:53:00	220
BR8	12/18/2017 19:52:00	220
BR8	12/18/2017 19:51:00	220
BR8	12/18/2017 19:50:00	220
BR8	12/18/2017 06:24:00	52
BR8	12/18/2017 06:23:00	52

BR8	12/18/2017 06:22:00	52
BR8	12/18/2017 06:21:00	52
BR8	12/18/2017 06:20:00	52
BR8	12/18/2017 06:19:00	52
BR8	12/18/2017 06:18:00	51
BR8	12/18/2017 06:17:00	51
BR8	12/18/2017 06:16:00	51
BR8	12/18/2017 06:15:00	51

Tabla 9. Valores para el braker 8 a partir de la unidad Spyder

El consumo promedio calculado es de 2.2 kW por día. Se conoce que este braker alimenta 10 paneles de 36W, que están funcionando a un 33% menos; es decir, a 24W, por el nivel de dimado determinado por AIRIS. Extendiendo el consumo de estos 10 paneles a 12 horas (período de actividad promedio de la biblioteca), se tiene un consumo teórico diario de 2.8 kW aproximadamente. La diferencia entre el valor calculado y el valor teórico es de 24% aproximadamente, que puede deberse a una variabilidad en el porcentaje de dimado teórico frente al real, y a los momentos en los que el personal de biblioteca apaga las luces si no hay personas en el área de prueba.

El costo del kilovatio-hora se determinó como \$0.097 para el período de 7am a 9pm, valor indicados por la Empresa Eléctrica Quito (2017). Para un consumo de 2.2 kW/día en el braker 8, el razonamiento es el siguiente²⁴:

Puedo multiplicar el consumo diario por el costo del kilovatio-hora y por el número de días al mes para estimar el costo del consumo en el mes. Esto puedo aplicar para los valores de consumo teóricos y prácticos. Con esto, puedo determinar el ahorro como la diferencia en los valores.

Cálculo de porcentaje de ahorro.

Utilizando los datos determinados en la secciones de Configuración de equipos y software y Análisis de datos, se procedió a realizar el cálculo del porcentaje de ahorro.

²⁴ Se ha estimado el período de actividad de la biblioteca en 24 días para el período de prueba.

Para el braker 8:

$$\frac{2.2 \text{ kW}}{\text{día}} \times \frac{\$0.097}{\text{kWh}} \times 24 \text{ días} \approx \$5,12$$

Ahora se calcula para los valores teóricos. En la zona de prueba, previo a la instalación de las luces LEDs, existía una relación de número de luces de 2 a 1, como se explicó en la sección de Análisis de fichas técnicas. Con 20 luces de 32W se produce un consumo de 7,68 kW por día. El cálculo del costo:

$$\frac{7.68 \text{ kW}}{\text{día}} \times \frac{\$0.097}{\text{kWh}} \times 24 \text{ días} \approx \$17,88$$

Lo que indica que en un mes, actualmente el ahorro en el braker 8 es de \$12,76. La siguiente tabla resume los resultados para los 4 brakers de prueba:

Braker	Consumo previo (kW / día)	Consumo actual (kW / día)	Ahorro (\$)
8	7,68	2,2	12,76
10	9,21	1,1	18,88
12	16,34	1,2	35,25
14	15,58	2,7	29,98

Tabla 10. Resultados de ahorro en zona de prueba

En total, se ahorrado \$96,87 en el mes de prueba respecto a los valores anteriores de consumo, sin contar el valor correspondiente al braker 16, que se utilizó para alimentar una de las unidades de adquisición de datos. Considerando que la zona de prueba representa un 10% de las luces en biblioteca, el ahorro se puede extrapolar a \$1000 aproximadamente, como el valor de ahorro para toda la biblioteca en un mes de consumo. Para realizar una extrapolación más precisa, se necesita conocer el ahorro en consumo mensual para el resto de meses en el período académico anual de la universidad. Esto, en conjunto con el cálculo del ahorro en otras zonas en las que actualmente se están reemplazando las luces, producirá un ahorro mucho más significativo, que representaría una parte dentro de todo el proceso de la implementación de políticas de ahorro energético.

Trabajo futuro

La minería de datos es una rama de conocimiento bastante extensa en términos de técnicas y herramientas para la adquisición, procesamiento y análisis de datos. Varias investigaciones han sido el resultado de los esfuerzos por aplicar este conocimiento en el área de eléctrica y electrónica, así como el trabajo citado en Neagu (2017). Por ahora, los valores calculados en este trabajo pueden extrapolarse hasta cierto punto, debido a que solamente se han considerado cargas resistivas de las fuentes lumínicas y de únicamente dos tipos de luces LED, dentro de todo el catálogo de productos que ha instalado AIRIS en la biblioteca de la USFQ. Tomando en cuenta que se ha calculado un valor de ahorro porcentual en relación al consumo energético individual de una fuente lumínica, y se ha extendido este valor al ámbito económico, el siguiente paso a futuro sería realizar el monitoreo y el análisis de los datos de consumo en el resto de paneles eléctricos, para comparar el resultado de esta extrapolación con valores más acertados. En cierto modo, si se continúa en etapa de pruebas, se podría seguir monitoreando el consumo usando el mismo panel de prueba, pero en períodos más extensos, empezando con incluir al semestre académico entre enero a mayo y el período de verano de junio a agosto. Con esto, entonces, se podría estimar de mejor manera la tendencia de consumo por horas pico, y junto con un equipo como el PLC que se describió en la sección de Antecedentes, establecer una secuencia de control automático de luces que maneje el rango de variabilidad de luminosidad de aquellas luces que tengan sensores programables. Al momento, esta programación sigue siendo manual y no se hace constantemente, por lo que se reduciría el trabajo de la manipulación individual de cada sensor.

CONCLUSIONES

En primer lugar, respecto a los dispositivos analizados, se ha encontrado que la tecnología LED tiene el potencial para cambiar la matriz productiva del país, y no es difícil imaginarlo después de revisar la oferta mundial de estos gadgets en el campo de la domótica e inmótica. Sin embargo, se requiere trabajar exhaustivamente en las relaciones entre los diferentes actores de la sociedad, para que se cree una cultura social respecto a las ventajas de utilizar esta tecnología a largo plazo en el país, y que no se considere únicamente el valor económico, sino también el valor de la información que puede ofrecer para procesar. Sin embargo, es indispensable que, al momento de categorizar la información, se confirme que la configuración de los sensores o luces a instalarse corresponda a lo propuesto en la normativa técnica, para que se eviten problemas como sobrecargas en equipos de adquisición de datos y monitoreo, errores de precisión entre los datos y se pueda simplificar el proceso de análisis. De aquí se concluye que en el Ecuador se puede mejorar la calidad de los productos y servicios en el sector de iluminación, puesto que es todavía un área inexplorada y casi limitada a la importación.

El sistema de luces LED con sensores como solución de AIRIS ha resultado atractivo y de valor para la USFQ, pues se ha enfocado en funcionalidad y confort cumpliendo con la normativa técnica y las peticiones a nivel administrativo de la universidad. Al mismo tiempo, el sistema ha mantenido un balance precio / calidad, comprobado gracias al ahorro calculado de \$96.87 al mes, respecto al consumo energético previo al uso de LEDs; y, aunque el mismo también brinda opciones decorativas a ser determinadas con los parámetros de intensidad de luz, su esencia ha sido configurar estos sensores para mantener la línea de visión de ahorro energético.

Cabe necesario recalcar que debería verse a la eficiencia energética como un recurso. Importantes índices de eficiencia energética como los de la Agencia Internacional de Energía

(IEA) permiten establecer políticas de suministro, mejores prácticas de uso de recursos, reducción de contaminación, entre otras (2015).

La demanda actual de sistemas de iluminación inteligente, sistemas y dispositivos de adquisición, monitoreo y control de datos, entre otros, abre infinitas posibilidades de desarrollo. Sin embargo, todavía existen retos que enfrentar, así como el manejo de la disponibilidad de redes, la calidad de la conexión para la transmisión de datos, errores en los mismos medios de transmisión, la incertidumbre de fallas en componentes físicos o en el software de los equipos utilizados, etc. Hay que considerar que fue necesaria la interconexión de los equipos de monitoreo en una red LAN privada, para aprovechar la seguridad -se garantiza la integridad de los datos al no correr otras aplicaciones detrás-, mejor transmisión por emisión de datos exclusiva -porque todo el ancho de banda está dedicado a la transmisión de datos-, y el ambiente controlado -por el control sobre la configuración de los parámetros de la red-. Hay que volver a mencionar que los costos no deberían considerarse como obstáculo, puesto que actualmente existen varios gadgets y soluciones caseras en el área de hogares e inmuebles inteligentes, así como los microcontroladores de Arduino y la tarjeta de procesamiento Raspberry Pi, por ejemplo, que son dispositivos programables con plataformas dedicadas a la comunicación entre software y hardware (Doutel, 2015). De todos modos, esto todavía implica la existencia de una barrera entre las personas y la tecnología por el conocimiento técnico o científico que podría necesitar el usuario para implementar dichas soluciones por su cuenta.

El análisis de los datos de consumo energético en la biblioteca de la USFQ da la posibilidad de probar que un plan de inversión en luces LED con sensores para otras áreas de la universidad sería rentable, dado que el ahorro económico ha resultado en un aproximado de \$1000 mensuales en toda la biblioteca. Este análisis y cálculo ha sido posible, debido a que las tendencias de consumo eléctrico a nivel de iluminación en la biblioteca se han tenido en crecimiento controlado. Por otro lado, los horarios de apertura de la biblioteca se mantienen

constantes en cada periodo académico. Segundo, no se ha reportado apagones ni interrupciones en el servicio eléctrico que se consideren significativos en el período de prueba (septiembre a diciembre de 2017), para que haya una diferencia significativa de consumo. Tercero, las luces permanecen prendidas durante el horario de actividad en biblioteca. Por tanto, puesto que no se ha analizado el consumo en equipos con carga de naturaleza reactiva, así como los ordenadores y maquinarias, ni el generado por conexiones de otros dispositivos a tomacorrientes, las únicas posibles variaciones en consumo en biblioteca se darían por luces dañadas, fallas en el mismo circuito y la cantidad de personas que utilizan las luces de los cubículos (mismos que permanecen a oscuras cuando no hay actividad). En cuanto a la evaluación económica de este mismo proyecto, es necesario un análisis aplicado a los equipos de potencia en cocinas, laboratorios de ciencias, entre otros, para poder comparar el consumo total con los valores calculados por la Empresa Eléctrica Quito, también expuestos en Báez (2011) y Cárdenas & Villacreses (2016).

Los resultados presentados en este trabajo se lograron obtener tras superar algunos obstáculos que se presentaron durante el desarrollo del proyecto. La precisión del cálculo se debe, en su mayoría, a un subperiodo de 1 semana y media en las que no se recolectaron datos por una falla en el puerto Ethernet en el dispositivo ECC, por lo que no se pudo analizar esos datos (desplegando un valor de 0 para los parámetros de potencia), y a su vez generó datos basura en algunos registros por tiempo. Sin embargo, debido a que se ha encontrado una tendencia de consumo constante, se considera que el error de cálculo no se ha visto afectado considerablemente. Con esto, se recomienda proceder a la siguiente etapa del proyecto, que corresponde al monitoreo y análisis de datos para el resto de tableros eléctricos en biblioteca, antes del reemplazo e instalación de nuevas luces LED en otras secciones de la universidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABC Digital. (2003). El objetivo de la tecnología es satisfacer las necesidades humanas. *La tecnología en nuestra vida hoy, aquí y ahora*. ABC. Obtenido el 4 de noviembre de 2017 de <http://www.abc.com.py/articulos/el-objetivo-de-la-tecnologia-es-satisfacer-las-necesidades-humanas-716548.html>
- ABC Electronics. (2017). *¿Qué es un PLC y qué beneficios tiene?* Obtenido el 30 de septiembre de 2017 de <http://www.abcinnova.com/articulos-e-informacion/18-ique-es-un-plc-y-que-beneficios-tiene.html>
- Alonso, M. & Finn, E. (1970). *Física*. Volumen II: Campos y Ondas. Madrid, España: FEI, pp-480,489.
- Báez, S. (2011). *Análisis del Consumo Energético-Eléctrico de la Universidad San Francisco de Quito* (Tesis de pregrado). USFQ, Quito.
- Blancas, J. (2015). *¿Qué es la analítica o inteligencia en negocios?* Obtenido el 30 de septiembre de 2017 de <http://www.soluciones-si.com/BLOG/contenido-de-valor/que-es-la-analitica-de-inteligencia-de-negocios>
- Cárdenas, E. & Villacreses, S. (2016). *Estudio Piloto del Consumo Energético de la Universidad San Francisco de Quito* (Tesis de pregrado). USFQ, Quito.
- Culmen Proyectos. (2017). *¿Qué es domótica? ¿Qué es inmótica? y Ahorro Energético. Domótica e Inmótica*. Obtenido el 30 de septiembre de 2017 de http://www.culmenproyectos.com/index.php?option=com_content&view=article&id=49&Itemid=48
- Domínguez, H. & Sáez, F. (2006). *Domótica: Un enfoque sociotécnico*. Madrid, España: Fundación Rogelio Segovia para el Desarrollo de las Telecomunicaciones.
- Doutel, F. (2015). *Raspberry Pi frente a Arduino: ¿quién se adapta mejor a mi proyecto maker?* Obtenido el 26 de noviembre de 2017 de <https://www.xataka.com/makers/raspberry-pi-frente-a-arduino-quien-se-adapta-mejor-a-mi-proyecto-maker>
- Empresa Eléctrica Quito. (2017). *Pliego Tarifario para las Empresas Eléctricas*. Obtenido el 29 de octubre de 2017 de <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/01/Pliego-y-Cargos-Tarifarios-SPEE-2017.pdf>
- Energy Inc. (2017). *TED – The Energy Detective*. Obtenido el 29 de octubre de 2017 de <http://www.theenergydetective.com/>
- Friedman, J., Rice, H. & McGinty, G. (1981). *Electrónica General. Tomo I. Electrónica Básica* (Romero, E., trad.). Madrid, España: RCA Insitutes.
- González, M. (2017). *El switch: cómo funciona y sus principales características*. Obtenido el 29 de octubre de 2017 de <http://redestelematicas.com/el-switch-como-funciona-y-sus-principales-caracteristicas>

- Iluminet. (2011). *9 ventajas de la tecnología LED*. Obtenido el 30 de septiembre de 2017 de <http://www.iluminet.com/9-ventajas-de-tec-led/>
- International Energy Agency (Agencia Internacional de Energía). (2015). *Indicadores de Eficiencia Energética: Bases Esenciales para el Establecimiento de Políticas*, pp-17. París, Francia: OCDE/AIE
- López, C., López-Hernández, E. & Ancona, I. (2005). Desarrollo sustentable o sostenible: una definición conceptual. *Horizonte Sanitario*, 4(2). Obtenido el 30 de septiembre de 2017 de <http://www.redalyc.org/pdf/4578/457845044002.pdf>
- Neagu, B., Grigoras, G., et. al. (2016). Patterns Discovery of Load Curves Characteristics Using Clustering Based Data Mining. *Compatibility, Power Electronics and Power Engineering, IEEE*, pp-83.
- Osorio, C. (2002). Enfoques sobre la tecnología. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación*, (2). Obtenido el 26 de noviembre de 2017 de <http://www.oei.es/historico/revistactsi/numero2/osorio.htm>
- Real Academia Española. (2017). *Definición de tecnología*. Obtenido el 19 de noviembre de 2017 de <http://dle.rae.es/?id=ZJ2KRZZ>
- Real Academia Española. (2017). *Definición de transductor*. Obtenido el 19 de noviembre de 2017 de <http://dle.rae.es/srv/search?m=30&w=transductor>
- Stenerson, J. (2004). Overview of Programmable Logic Controllers. *Fundamentals of Programmable Logic Controllers, Sensors, and Communications* [Fundamentos de Controladores Lógicos Programables, Sensores y Comunicaciones]. Upper Saddle River, Estados Unidos: Pearson, pp-18.
- Techlandia. (2017). *Componentes del panel eléctrico*. Obtenido el 19 de noviembre de 2017 de https://techlandia.com/componentes-del-panel-electrico-lista_140901/
- Van Rossum, G. (2009). *El tutorial de Python* (trad.). Python Software Foundation. Obtenido el 19 de noviembre de 2017 de <http://docs.python.org.ar/tutorial/pdfs/TutorialPython2.pdf>
- Vialfa, C. (2017). *Qué es una LAN. Ethernet*. Obtenido el 29 de octubre de 2017 de <http://es.ccm.net/contents/253-lan-red-de-area-local>
- Vialfa, C. (2017). *Ethernet*. Obtenido el 29 de octubre de 2017 de <http://es.ccm.net/contents/672-ethernet>
- Weiner, C. & Shonle, I. (2011). Uso de un Monitor de Energía para Controlar sus Costos de Electricidad. *Serie al Consumidor. Energía*, (10628). Obtenido el 26 de noviembre de 2017 de <http://extension.colostate.edu/docs/pubs/spanish/10628.pdf>

ANEXO 1: ÁREAS EN BIBLIOTECA

Luces en entrada y recepción



Luces en computadoras y mesas de trabajo personales (primer piso / segundo piso)



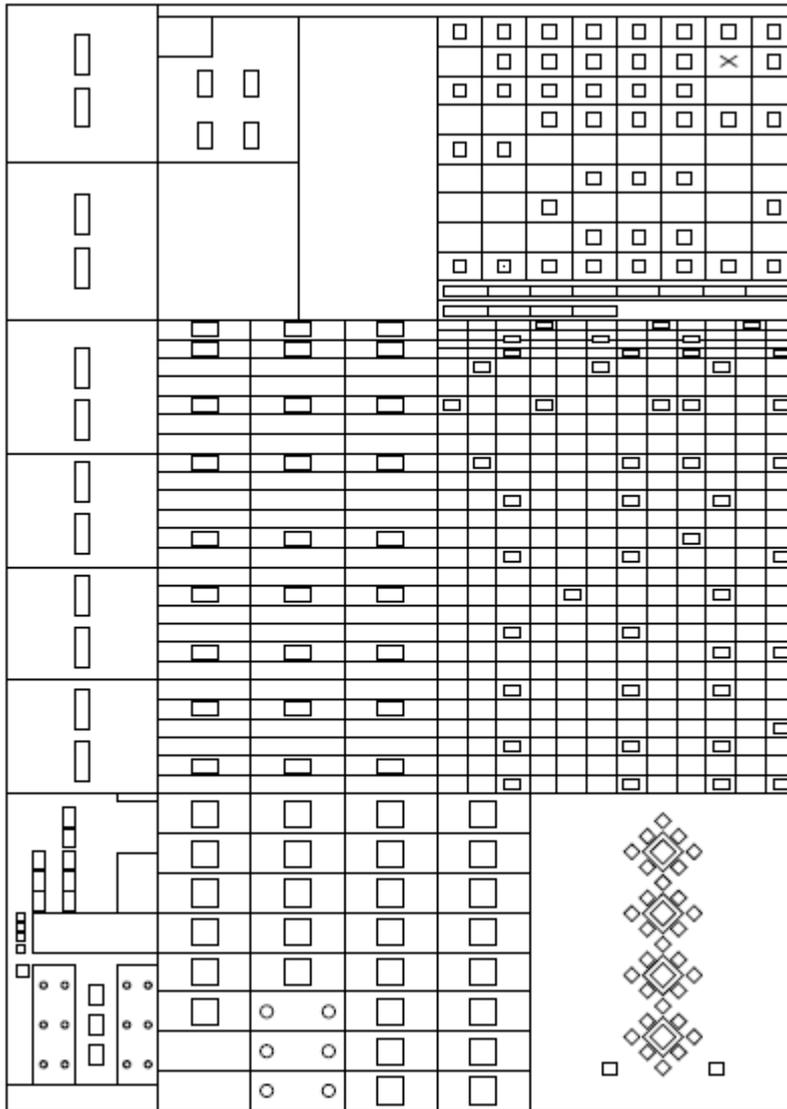
Luces en pasillos de segundo piso



ANEXO 2: ESQUEMA DE DISPOSICIÓN DE LUCES

Por ubicación:

HEMEROTECA



ENTRADA

ANEXO 3: EQUIPOS DE TED



MTU



CT(400A)



ECC



Spyder



CT(20A)

ANEXO 4: PANEL ELÉCTRICO Y ZONA MUESTRAL

