

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingeniería

**Sistema de Gestión Energética con Mejora Continua basado
en la Norma ISO 50001 para el Campus USFQ**

Proyecto de Investigación

Carlos Alejandro Cabezas Cevallos

Ingeniería Mecánica

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

Quito, 21 de diciembre de 2018

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍAS

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Sistema de Gestión Energética con Mejora Continua basado
en la Norma ISO 50001 para el Campus USFQ**

Carlos Alejandro Cabezas Cevallos

Calificación : _____

Nombre del profesor, Título académico : Juan Sebastián Proaño, PhD

Firma del profesor : _____

Quito, 21 de diciembre de 2018

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:

Carlos Alejandro Cabezas Cevallos

Código:

00116679

Cédula de Identidad:

1721818399

Lugar y fecha:

Quito, 21 de diciembre de 2018

Resumen

Todos los seres humanos consumimos energía eléctrica, a medida que la población y la necesidad por implementar la tecnología a nuestra vida aumenten, el consumo energético de los seres humanos también aumentara. Grandes actividades de producción, manufactura e incluso de generación eléctrica han sido estudiadas con la búsqueda de maximizar el desempeño energético de las mismas, pues incluyen actividades cuyo consumo energético es amplio. Sin embargo, no se puede dejar de lado que la congregación de seres humanos en un área trae consigo un mayor consumo energético de dicha área. Es por ello que organizaciones o instituciones con un alto índice de concurrencia deben también ser considerados para la reducción de su consumo energético, por ejemplo: escuelas, hospitales, universidades o grandes oficinas, es por esto que la norma ISO 50001 se centra en este tipo de organizaciones y en los posibles cambios que puede realizar de manera que mejore su desempeño energético.

Esta investigación tiene como objetivo realizar un sistema de gestión energética aplicado a la Universidad San Francisco de Quito bajo los lineamientos de la norma ISO 50001. Se identificará según los parámetros de la norma los parámetros necesarios para descubrir oportunidades de mejora de desempeño energético, así se propondrá la implementación de sistemas que permitan a la universidad reducir su consumo energético, los gastos que esto le implica, y con ello la emisión de gases de efecto invernadero.

Cabe recalcar que la importancia de este trabajo de titulación, así como la de trabajos previos relacionados con el tema sirven como base para poder continuar con la fomentación de trabajos en búsqueda de la reducción del consumo energético, la implementación de nuevos sistemas de gestión energética y políticas energéticas que puedan ser aplicables a varias instituciones. Bajo estos parámetros se buscará implementar un plan de mejora continua con la espera de que se pueda continuar el análisis y la evaluación de los resultados obtenidos, así como una nueva reevaluación y rectificación de los sistemas, políticas y recomendaciones que se llevaron a cabo a lo largo de este trabajo.

Palabras clave: Desempeño energético, gestión energética, políticas energéticas, consumo energético, ISO, mejora continua.

Abstract

We all as humans consume electric energy, and as our population keeps growing and the necessity for implementing technology in our daily lives keeps raising, so does our energy consumption. Big production activities in manufacturing, industries and even energy generation systems have been studied with the intention to maximize the energetic performance, as these activities include subsystems with a high-energy consumption. Nevertheless, we cannot put aside that the congregation of humans in a single area brings with it a large energy consumption in that specific area. This is why organizations or institutions with a high value of human gathering must also be considered when we think on places where we can reduce the energy consumption, as an example, schools, hospitals, universities, or large offices, here is where the implementation of ISO 50001 comes to play, as it focuses on this type of institutions and in the changes that could be made in order to upgrade their energetic performance.

This investigation's objective is to carry out an energetic management system applied to Universidad San Francisco de Quito, under the rules of ISO 50001. Based on the standards of ISO we will identify the different necessities for finding new opportunities of energetic performance, in this way we will propose systems that allow the university's energy's consumption reduction and with this a further reduction in the expenses that this use of energy involves, as well as the emission of greenhouse gases related to these activities.

We should accentuate that this investigation, as others that are related and were previously made, earn a great value once we consider that they work as a base that allows the continuous elaboration on the subject of energy's consumption reduction, implementation of new energetic management systems and energetic policies that can be applied to diverse institutions. Following these ideas, our challenge is to create a plan of continuous improvement with the hope that the different conclusions and results found in this document will be improved and continued, as well as new reevaluations and upgrades to the systems, policies and recommendations that will be carried out throughout this investigation.

Key Words: Energetic performance, energetic management, energetic policies, energy consumption, ISO, continuous improvement.

Índice

| | |
|--|----|
| Resumen | 4 |
| Abstract | 5 |
| 1. Introducción | 9 |
| 2. Desarrollo | 12 |
| 2.1 Metodología | 12 |
| 2.2 Requerimientos | 15 |
| 3. Resultados y Discusiones | 16 |
| 3.1 Políticas Energéticas | 16 |
| 3.1.1 Políticas | 17 |
| 3.2 Línea de Base Energética | 20 |
| 3.3 Plan de Ascensores y Escaleras Eléctricas | 23 |
| 3.3.1 Ascensores | 24 |
| 3.3.2 Cálculos Básicos del Movimiento de un Ascensor | 25 |
| 3.3.3 Escaleras Eléctricas | 33 |
| 3.3.4 Registro de Datos del Uso de Escaleras y Ascensores | 35 |
| 3.3.5 Soluciones para Ascensores y Escaleras Eléctricas | 46 |
| 3.4. Plan de Aire Acondicionado | 53 |
| 3.4.1 Cooling Loads | 55 |
| 3.4.2 Simulación en SolidWorks | 66 |
| 3.4.3 Soluciones al Aire Acondicionado | 69 |
| 3.5 Propuesta de Monitoreo Continuo | 71 |
| 4. Conclusiones | 74 |
| Referencias Bibliográficas | 78 |
| ANEXO A: MODELO DE POLITICAS ENERGETICAS | 83 |
| ANEXO B: DIAGRAMA UNIFILAR DEL TABLERO DE ASCENSORES Y ESCALERAS ELECTRICAS | 88 |

Índice de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Fases y Actividades de la norma ISO 50001 | 12 |
| Tabla 2. Datos de las Escaleras Eléctricas usadas en Hayek. (Coheco[2]) | 35 |
| Tabla 3 Propuestas para ascensores y escaleras eléctricas con su respectivo ahorro | 48 |
| Tabla 4 Dimensiones por cada Parte con su Material Respectivo | 58 |
| Tabla 5 Propiedades de Cada Material. (*Incropera, 2011) | 60 |
| Tabla 6 Ahorro y Tiempo de Pago de cada Propuesta | 69 |
| Tabla 7 Ahorro y Tiempo de Pago según el uso del Aire Acondicionado | 70 |
| Tabla 8. Precios según Amazon.com de los Ítems necesarios para el Medidor Energético (Klements, 2017) | 72 |

Índice de Figuras

| | |
|---|-----------|
| Figura 1. Diagrama de flujo de la norma ISO 50001 | 14 |
| Figura 2. Modelo de Factura Eléctrica de la Universidad. (Villacreses & Eréndira, 2016) | 20 |
| Figura 3. Distribución de Áreas de Consumo Significativo en Hayek | 22 |
| Figura 4. Diagrama de Fuerzas en la Cabina | 26 |
| Figura 5. Partes y Componentes de la Estructura Superior de la Escalera. (Sánchez, 2011) | 34 |
| Figura 6. Partes y Componentes de la Estructura Inferior de la Escalera. (Sánchez, 2011) | 34 |
| Figura 7. Conexión del Equipo al Tablero de Ascensores y Escaleras | 36 |
| Figura 8. Potencia (kW) para Cada Fase obtenida del tablero de ascensores y escaleras eléctricas | 37 |
| Figura 9. Potencia (kW) Total obtenida del tablero de ascensores y escaleras eléctricas | 38 |
| Figura 10. Potencia (kW) Total obtenida del tablero de ascensores y escaleras eléctricas para el día martes 20 de Noviembre de 2018 | 40 |
| Figura 11. Consumo Eléctrico (kWh) total obtenido del tablero de ascensores y escaleras eléctricas con un periodo de agregación de la energía de cada 15 min | 41 |
| Figura 12. Consumo Eléctrico (kWh) total Acumulado obtenido del tablero de ascensores y escaleras eléctricas | 41 |
| Figura 13. Línea de Tendencia para el Consumo Eléctrico Acumulado..... | 42 |
| Figura 14. Factor de Potencia obtenido del tablero de ascensores y escaleras eléctricas | 44 |
| Figura 15. Potencia Aparente (kVA) total y Potencia (kW) total obtenida del tablero de ascensores y escaleras eléctricas | 44 |
| Figura 16. Voltaje (V) de Cada Fase obtenido del tablero de ascensores y escaleras eléctricas | 44 |
| Figura 17. Amperaje (A) de Cada Fase obtenida del tablero de ascensores y escaleras eléctricas .. | 45 |
| Figura 18. Potencia (kW) modificada para predecir el comportamiento de aplicar las soluciones .. | 49 |
| Figura 19. Teoría de Techos Fríos (Manville, 2016)..... | 55 |
| Figura 20. Partes de la Oficina Vista Frontal | 57 |
| Figura 21. Partes de la Oficina Vista Posterior | 58 |
| Figura 22. Efecto del Acondicionado en la Oficina | 67 |
| Figura 23. Distribución de Temperatura dentro del cuarto | 68 |

1. Introducción

Cuando hablamos de energía, consumo energético, o eficiencia energética estamos en esencia hablando sobre como preservar el futuro de nuestro planeta. El uso de recursos, tanto para nuestra supervivencia como para nuestro desarrollo, ha impulsado el uso de fuentes de energía que fomenten el crecimiento tecnológico del ser humano. Cada acción que realizamos necesita de energía, así sea a una gran o pequeña escala, y es así como encontramos un problema: los recursos nos son ilimitados y las fuentes de energía de las que disponemos hoy en día poco a poco se van terminando y en el proceso dejan un fuerte impacto en el medio ambiente. De esta manera mientras nuevas técnicas que nos permitan obtener energía son desarrolladas, debemos tratar de reducir nuestro consumo energético actual, es así como la eficiencia energética gana relevancia en este contexto. La eficiencia energética busca el reconocimiento de sistemas y procesos que ayuden a mejorar el desempeño energético, incluyendo el uso y consumo energético de estos, este objetivo es el mismo enfoque que tiene la norma ISO 50001, de la cual hablaremos posteriormente. La importancia de la eficiencia energética radica en las posibilidades que genera, no solo es una forma de ser amigables con el medio ambiente, reduciendo nuestra huella de carbono y otros impactos ambientales generados a partir del consumo de energía, pero a su vez se puede obtener un ahorro económico importante que puede ser reinvertido, motivando de esta forma a la industria o institución a mejorar su desempeño energético.

A lo largo de este trabajo de titulación realizaremos un plan de gestión energética para la Universidad San Francisco de Quito (USFQ), teniendo como predecesores trabajos de titulación de previos alumnos que de igual forma han buscado mejorar el consumo energético de la universidad e implementar planes de ahorro de energía. Se recopilarán datos y

aportes considerables a este trabajo, promoviendo así la continua mejora de planes con enfoques energéticos dentro de la USFQ. Este trabajo será un aporte más a la serie de contribuciones para continuar en el campo de la eficiencia energética y en un futuro cercano implementar un plan de acción que ayude a reducir el consumo de energía de la USFQ, sirviendo así de ejemplo para que en otras universidades se impulsen este tipo de programas, por ejemplo, ponemos a consideración casos exitosos de la aplicación de la norma como en la Universidad Sheffield Hallam, en Reino Unido, donde hubo una reducción del 11% de emisiones de carbono y un ahorro de diez mil dólares mensuales (BSI, 2012), a su vez se han visto la aplicación en países como España a nivel de universidades, sin embargo, en Ecuador constituiría un trabajo pionero en este campo. Principalmente trabajaremos con base en 3 trabajos de titulación previos de donde resaltamos como considerables los siguientes resultados obtenidos:

- Un plan piloto en la universidad donde se hallan los equipos de mayor consumo y otras fallas eléctricas, realizando una comparación entre dos períodos de tiempo de consumo eléctrico en la universidad. (Villacreses & Eréndira, 2016)
- Inventario y clasificación de los distintos tipos de sistemas de consumo energético. Resultados del consumo energético de los sistemas, con un énfasis en las áreas y sistemas de mayor consumo. (Báez, 2011)
- Relaciones costo-beneficio del ahorro energético, un enfoque más económico y de sostenibilidad sobre el posible ahorro al implementar planes, sistemas, políticas y distintas perspectivas de la gestión energética. (Corrales, 2014)

En este trabajo se va a realizar un plan de mejora continua, esto incluirá la identificación de operaciones principales de consumo energético, la propuesta de oportunidades de mejora de

consumo energético y el desarrollo de políticas energéticas, todo esto mediante la implementación de la Norma ISO 50001 de manejo de sistemas energéticos, para crear así un sistema de gestión energética (SGen), que suponga un atractivo medio ambiental y económico para la universidad. Dentro de esta norma se plantean los requisitos generales que se deben cumplir para tener un SGen, esto incluye:

[E]stablecer, documentar, implementar, mantener y mejorar un SGen de acuerdo con los requisitos de esta Norma [...], definir y documentar el alcance de los límites de su SGen [...], determinar cómo cumplirá con los requisitos de esta Norma Internacional con el fin de lograr una mejora continua de su desempeño energético y de su SGen.
(INEN, 2011)

De igual manera a lo largo de la norma se refuerza la importancia de un compromiso por parte de la alta dirección, ya que a ellos recaerá la responsabilidad de cumplir los requisitos propuestos y de implementar una política energética. A su vez se plantearán recomendaciones para que la alta dirección pueda seguirlas y comprometerse en la mejora de la eficiencia energética en la USFQ. Las políticas energéticas tienen una gran importancia dentro de la norma ya que de ella depende la magnitud a la cual se cumplen los objetivos con respecto al consumo y eficiencia energética, apoyando como consecuencia a los sistemas que busquen mejorar el desempeño energético. Muchos aspectos importantes de la norma se verán presentados a medida que este trabajo se desarrolla, por el momento nos enfocaremos en los más importantes y siguiendo la serie de planificación energética y sus requisitos se debe recalcar la importancia de la documentación de los sistemas, políticas, indicadores y planes energéticos que sean propuestos, ya que esto permite un seguimiento sencillo y facilita la mejora continua.

2. Desarrollo

2.1 Metodología

A lo largo de este trabajo nos centraremos en las indicaciones de la norma ISO 50001, a continuación, presentaremos una tabla de resumen de los distintos aspectos que se incluyen.

Tabla 1. Fases y Actividades de la norma ISO 50001

| Fases | Actividades | Descripción |
|----------------------------|--|--|
| Planificación energética | Requisitos | Búsqueda de requisitos nacionales que se encuentren relacionados con la energía y que a su vez puedan ser aplicados y relevantes al sistema energético. |
| | Revisión energética | Definición de áreas de uso significativo, identificación de oportunidades de mejora. Descripción de las fuentes de energía utilizadas y de las potencialmente utilizables. |
| | | Realización de una auditoria energética, que comprenda una revisión detallada de los procesos y del desempeño energético. Análisis de datos y resultados de la auditoría, para poder considerar recomendaciones. |
| | | Actualización de la revisión energética. Esta implica un paso importante ya que permite determinar nuevas oportunidades y los resultados de aplicación de la norma. |
| | Línea de base energética | Registro de la variabilidad en el uso y consumo de la energía según distintos factores como por ejemplo el clima. Esta permite determinar el período de mantenimiento. |
| | Indicadores de Desempeño Energético | Los IDENs son elegidos por la organización de tal forma que informen de manera efectiva el desempeño energético de sus operaciones. A su vez debe poder ser actualizable al producirse cambio según las líneas de base. |
| | Objetivos, metas y planes de acción | En adición de los planes enfocados en mejoras del desempeño energético, la organización puede incluir a su vez planes de acción cuyo objetivo sea alcanzar mejoras en la gestión global de la energía o en los procesos de los SGENs. A su vez estos planes de acción deben incluir un método que permita determinar los resultados de los mismos. |
| Implementación y operación | Competencia, formación y toma de conciencia. | Estos son definidos por la organización en base a sus necesidades organizacionales. Esta se encuentra basada en una combinación de educación, formación, habilidades y experiencia. |
| | Comunicación | Se debe comunicar internamente información relacionada a su desempeño energético y a su SGEN, de una manera que corresponda al tamaño de la organización. |

| | | |
|--------------|--|--|
| | Documentación | Todo documento que la organización considere necesario para demostrar su desempeño energético y su apoyo a los SGEN. Aquellos documentos obligatorios de documentar son señalados a lo largo de la norma. |
| | Control Operacional | La organización debería evaluar las operaciones que se encuentren asociadas con el uso significativo de la energía y a su vez que estas controlen los impactos adversos asociados, con el objetivo de cumplir los objetivos, metas y políticas planteadas. |
| | Diseño | Se debe considerar las oportunidades de mejora de desempeño energético y de control operacional, al diseñar instalaciones nuevas, modificadas o renovadas, de equipos, sistemas y procesos significativos. Debe acoplarse los resultados de evaluación del desempeño energético al diseño. |
| | Adquisición de servicios, productos, equipos y energía | Estas adquisiciones presentan una oportunidad para mejorar el desempeño energético. A su vez permiten trabajar con la cadena de suministros y tener influencia sobre su comportamiento energético. Los elementos por identificar para compra de energía son calidad, disponibilidad, costo e impacto ambiental. |
| Verificación | Seguimiento, medición y análisis | La organización debe asegurar que las características clave que determinan el desempeño energético se sigan, se mida y se analicen a intervalos planificados. La organización debe investigar y responder a desviaciones significativas del desempeño energético. |
| | Evaluación de cumplimiento de los requisitos | La organización debe evaluar a intervalos planificados, el cumplimiento de todos los requisitos que está suscrito según su uso y consumo energético. |
| | Auditorías internas del SGEN | Puede ser realizada tanto por la organización o por personas externas, mientras estas puedan realizarlas de manera exhaustiva, imparcial y objetiva. Se debe definir claramente el objetivo y alcance de la auditoría, así como comprender la diferencia entre una auditoría energética, una auditoría interna de un SGEN y una auditoría interna del desempeño energético de un SGEN. |
| | Acción correctiva y preventiva | La organización debe tratar las no conformidades reales y potenciales mediante correcciones y acciones correctivas y preventivas. Las acciones deben ser apropiadas a la magnitud de los problemas. |
| | Control de los registros | Se debe establecer y mantener los registros de forma que se demuestre los requisitos de su SGEN y de esta norma internacional. Se debe definir e implementar controles para la identificación, recuperación y retención de los registros. A su vez los registros deben ser legibles, identificables y trazables a las actividades pertinentes. |

| | | |
|---------------------------|---------------------------|--|
| Revisión por la dirección | Información de entrada | La información de entrada debe incluir: acciones de seguimiento, revisión de la política energética, revisión de desempeño energético y de los IDEns, resultados de la evaluación de los requisitos, grado de cumplimiento de objetivos y metas, resultados de auditorías, estado de la acciones correctivas y preventivas, mejoras, recomendaciones y proyección del desempeño energético a futuro. |
| | Resultados de la revisión | Los resultados de la revisión debe incluir cambios en: el desempeño energético, en la política energética, en los IDEns, en los objetivos y metas u otros elementos del sistema, y en la asignación de recursos. |

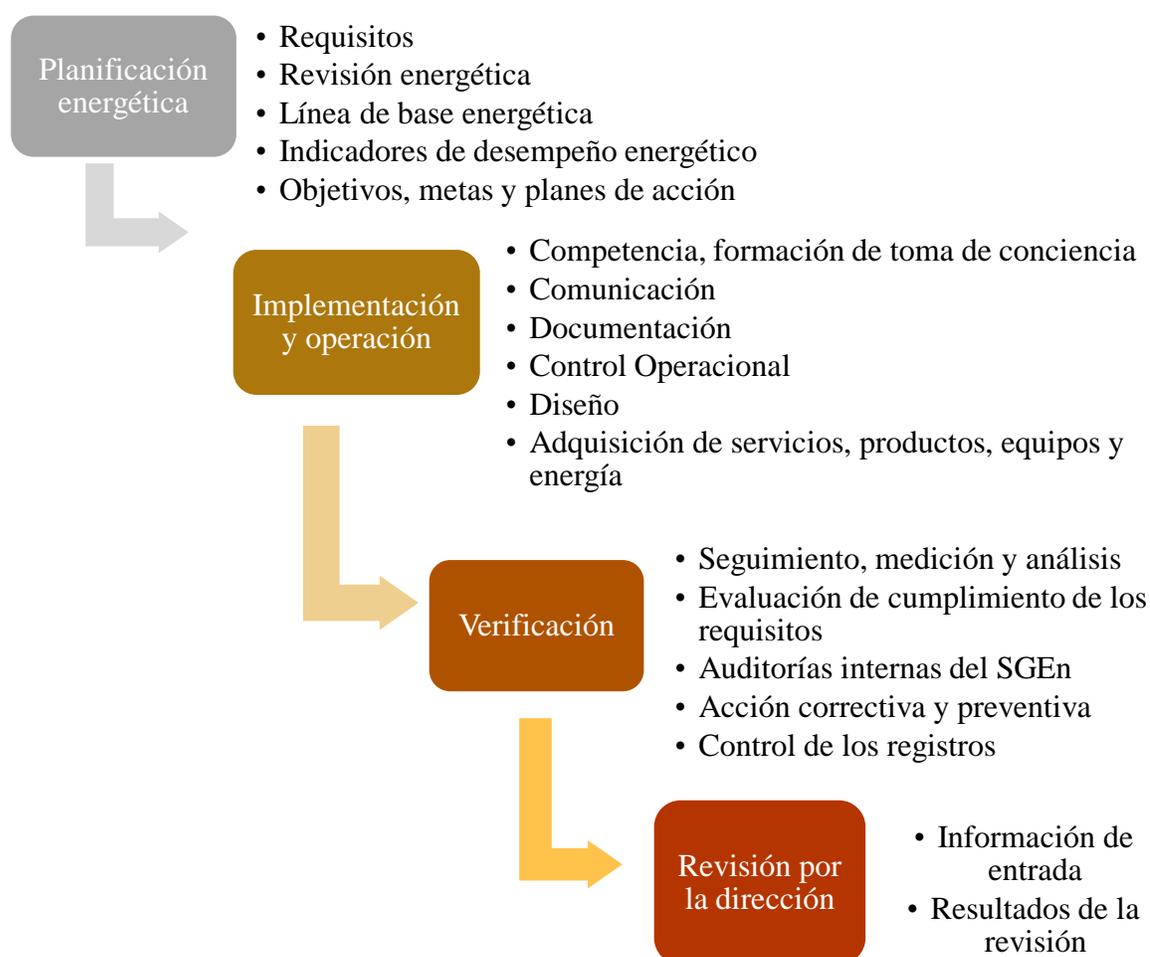


Figura 1. Diagrama de flujo de la norma ISO 50001

Principalmente este trabajo se enfocará en las dos primeras partes de la norma: planificación energética e implementación y operación. Partiendo de esta norma como marco general se comenzará por plantear los requerimientos de este trabajo y las políticas energéticas, posteriormente se identificará la línea de base energética, y las áreas de consumo significativo, todo esto como parte de la planificación energética. En el área de implementación y operación, se trabajará principalmente en el diseño de soluciones y planes de acción, entendiendo el funcionamiento de los sistemas y el impacto eléctrico que generan. La mayor limitación de esta área es la implementación ya que involucraría cambios con costos muy elevados o con un alto grado de complicación. Por consiguiente, el área de verificación y de revisión serán trabajos a futuro que tomarán este como base para completar la norma en su totalidad.

2.2 Requerimientos

Para llevar a cabo el presente trabajo de titulación, se tomó en cuenta los requerimientos, expectativas y objetivos esperados a alcanzar, los cuales son los siguientes:

- Crear una serie de políticas energéticas que se implemente en todo el campus USFQ.
- Reducir potencialmente el consumo energético, fomentando la implementación de nuevos sistemas de gestión energética.
- Crear conciencia sobre la importancia de la reducción del consumo energético y el beneficio de efectivizarlo.
- Documentar los datos obtenidos tanto actual como anteriormente, de manera que se simplifique la tarea de encontrarlos.
- Identificar los sectores críticos de consumo energético en la universidad y proponer mejoras en estos sectores.

- Identificar la línea de base energética del edificio Hayek, que servirá de modelo para los demás edificios.
- Comprometer tanto a la comunidad como a la alta gerencia de la Universidad a involucrarse en el proyecto y darle la debida prioridad.
- Dar el primer paso para impulsar a otras Universidades a optar por estas alternativas de ahorro energético.
- Crear un plan de verificación de la implementación de la norma, de forma que se pueda realizar una auditoria interna.
- Mantener un control de los registros y documentación que se ha llevado a cabo, y que se encuentre de acceso libre para toda la comunidad.
- Realizar un plan de mejora continua, que supondría crear las bases para que este proyecto pueda seguir siendo trabajado e incluso amplificado a mayores escalas.

3. Resultados y Discusiones

3.1 Políticas Energéticas

Las políticas energéticas son la muestra del compromiso de la institución, tanto con la normal, con el cambio que esta genera dentro de sus actividades, es una serie de puntos los cuales tienen el objetivo de afectar de cierta forma el consumo energético en la universidad, involucrando a toda la comunidad que es parte de ella. Como un contexto general las políticas nacen como una respuesta de la Universidad San Francisco hacia el Objetivo 13 de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas; “Adoptar Medidas Urgentes para Combatir el Cambio Climático y sus Efectos”. De esta forma la Universidad muestra no solo su compromiso hacia la norma pero a su vez, hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible y por consiguiente hacia el

planeta. Finalmente, la introducción de esta política volvería a la Universidad pionera en el país, y en Latinoamérica, incentivando a otras instituciones a seguir su paso.

3.1.1 Políticas

1. La Universidad San Francisco de Quito y todos los miembros de su comunidad se comprometen a reducir y tomar conciencia sobre el impacto de sus actividades dentro y fuera de la Universidad.
2. La Universidad San Francisco de Quito se compromete a reducir o mantener su actual consumo eléctrico, indiferente del crecimiento de su comunidad.
3. La Universidad San Francisco de Quito y su alta gerencia se compromete con esta política, y a fomentar los distintos cambios que puedan provenir de esta. También se compromete a impulsar los distintos proyectos, facilitar la implementación, y estar abiertos a propuestas que atañen a esta política, siempre y cuando sean presentados/as de manera que reflejen un trabajo de investigación rigurosa, verificada y de alta calidad.
4. La Universidad San Francisco de Quito se compromete a cambiar de manera gradual su sistema de iluminación para dar paso a la tecnología LED, que ha demostrado una alta reducción en el consumo eléctrico, hasta cubrir todo el campus con esta tecnología.
5. Se alienta a los miembros de la Universidad a reducir el uso de ascensores y escaleras eléctricas, salvo sea un caso de profunda necesidad.
 - a. El uso de ascensores deberá ser destinado a personas con discapacidad, o que realmente lo necesiten.
 - b. La programación en ascensores será actualizada para responder a estos cambios.
 - c. Las escaleras eléctricas deberán descontinuadas y sustituidas por escaleras normales, ya que su uso actual no es justificado.

6. La Universidad San Francisco buscara alternativas que sustituyan el uso de aire acondicionado en aulas y oficinas, tales como pero no limitadas a: la implementación de aislamiento en los techos o el recubrimiento de color blanco en terrazas.
 - a. Aquellas oficinas que todavía utilicen aire acondicionado, deberán mantener sus puertas y ventanas cerradas, para evitar el sobreesfuerzo eléctrico del equipo.
7. Las computadoras de la Universidad estarán programadas para entrar en modo de bajo consumo cada 10 minutos. A su vez deberán ser totalmente apagadas en horas de bajo uso.
8. La Universidad San Francisco cuenta con distintas clases en distintas áreas, dentro de las cuales una gran parte de ellas tiene la realización de un proyecto como una actividad. Se buscará incentivar e impulsar que en aquellas clases los estudiantes, si ellos así lo desean, realicen su proyecto canalizado hacia esta política. Esto puede incluir, pero no se encuentra limitado a:
 - a. Campañas Publicitarias. Tanto de la política en general, como de concientización sobre la importancia del ahorro energético o de nuevas implementaciones a lo largo de la Universidad.
 - b. Proyectos de Ingeniería. Donde los estudiantes puedan identificar problemas e implementar soluciones, haciendo uso de sus conocimientos.
9. Todos los miembros de la comunidad San Francisco son responsables por el uso de la electricidad dentro de la Universidad, es por ello que es indispensable que cada persona dentro de la Universidad se cerciore de apagar las luces al salir de su zona de trabajo.
 - a. Las luces externas que no se encuentran de acceso permitido para estudiantes, profesores y otros miembros del personal, son responsabilidad de los guardias de

la Universidad. Si se determina que la zona se encuentra iluminada de manera natural y no es necesario iluminación artificial es imperativo que estas luces sean apagadas.

- i. Los estudiantes, profesores, y otros miembros del personal tienen la responsabilidad de hacer notar a los guardías de zonas que se encuentren iluminadas innecesariamente para que puedan responder de manera adecuada.

10. Todos los miembros de la Universidad tienen la responsabilidad de usar solo la energía que necesitan, por lo que el uso de enchufes debe ser responsable y eficiente. La mayoría de equipos continúan consumiendo electricidad solo con el hecho de estar conectados, se hace un hincapié tanto para las computadoras y los cargadores de celulares.

11. La Universidad San Francisco se compromete a realizar continuas auditorias de consumo de energía para los equipos usados en laboratorios, y otras áreas de alto consumo eléctrico.

12. La Universidad San Francisco se compromete a realizar una auditoria anual general para determinar que todos los procesos se estén llevando de manera correcta y si existen correcciones por hacer.

- a. Todas las auditorias y procesos realizados deben ser documentados y almacenados correctamente.

13. La Universidad San Francisco realizara un plan económico mediante el cual todos los ahorros generados por la implementación de esta política o de otras soluciones destinadas a reducir el consumo de electricidad, serán acumuladas para continuar implementando mejoras, creando un sistema autosustentable de mejoras continuas.

14. La Universidad San Francisco buscara implementar a mediano o largo plazo una fuente de energía renovable para el campus. Este será el paso más significativo de la Universidad hacia reducir su consumo eléctrico, al aumentar una fuente de energía con un pequeño impacto ambiental.

3.2 Línea de Base Energética

A partir de los trabajos previamente realizados se sabe que las áreas de mayor consumo energético se encuentran en la Biblioteca, y en las cocinas de la universidad. Sin embargo, se debe recalcar que el último estudio realizado fue en el 2016 y por la expansión y reorganización que ha tenido la universidad se debe realizar una vez más estos estudios para determinar un panorama más actual sobre el cual podamos trabajar. Uno de los primeros pasos es determinar la línea de base energética para ello debemos obtener los datos del consumo eléctrico de la universidad.

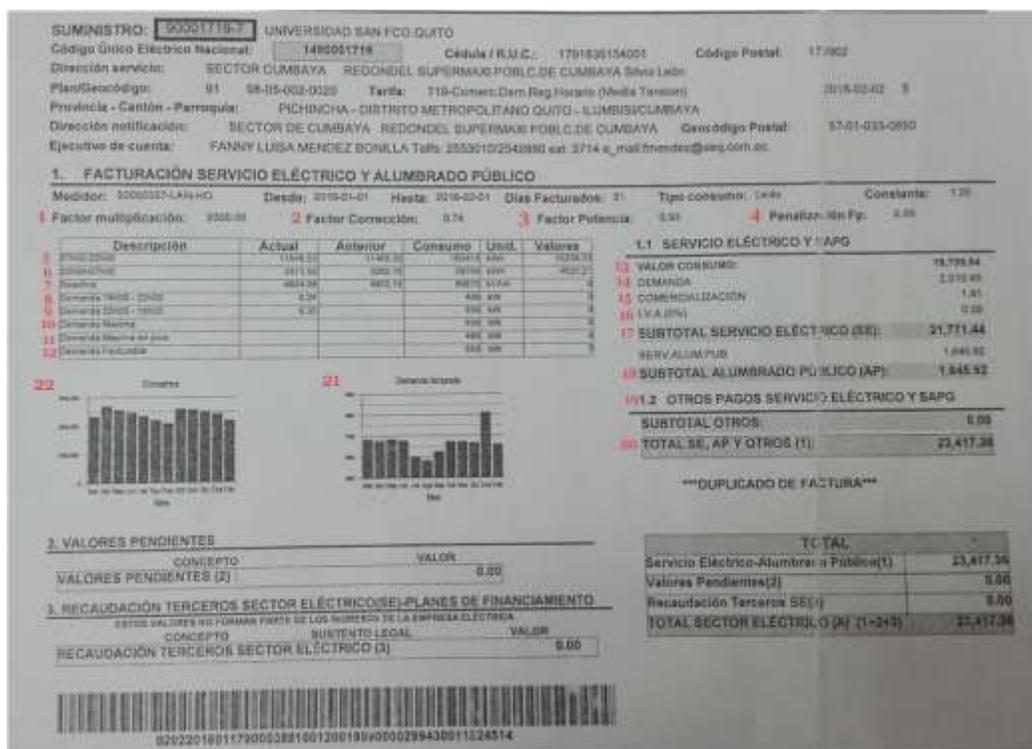


Figura 2. Modelo de Factura Eléctrica de la Universidad. (Villacreses & Eréndira, 2016)

Las facturas de consumo eléctrico son las primeras bases que nos dan una contextualización sobre el monto total que se está gastando dentro de la universidad en un mes. La Universidad San Francisco de Quito gasta alrededor de 250 000 dólares anuales en consumo eléctrico, pagando cerca de \$0.10/kWh, reducir este valor no solo supondría un impacto ambiental, pero también una cantidad significativa de dinero que puede ser reinvertida en potenciales mejoras, que sucesivamente generen mayor ahorro. Una vez obtenido es importante redefinir nuestro rango de búsqueda y delimitarlo, de esta manera encontramos las variables que afectan el consumo eléctrico, estas pueden ser:

- Densidad de personas en la universidad
- Clases semestrales en aulas de computación y uso general de estas aulas
- Uso de máquinas (copiadoras, equipo de mecanizado, impresoras, etc.)
- Implementación de aire acondicionado, ascensores, escaleras eléctricas.

La USFQ de manera reciente realizo una expansión adquiriendo el campus Hayek; localizado en el Paseo San Francisco, esta adquisición implica un incremento en estas variables y por lo tanto en el consumo eléctrico de la universidad. Este tipo de expansiones responden al inevitable crecimiento poblacional, y en consecuencia al crecimiento de estudiantes, profesores y miembros de la universidad. Sin embargo, si existe un aspecto positivo a esta y a futuras expansiones y es el hecho de que nuevas instalaciones suelen ser construidas con una mentalidad de eficiencia y de aprovechar nuestros recursos como puede ser el de la luz natural para reducir la iluminación artificial. De esta forma el edificio Hayek, que en un inicio fue pensado como un centro comercial, resulta un interesante caso de estudio para el tema de gestión de la energía, por lo cual se prosiguió a identificar las áreas de consumo y de consumo significativo, determinando así en qué áreas se puede implementar un plan de ahorro energético.

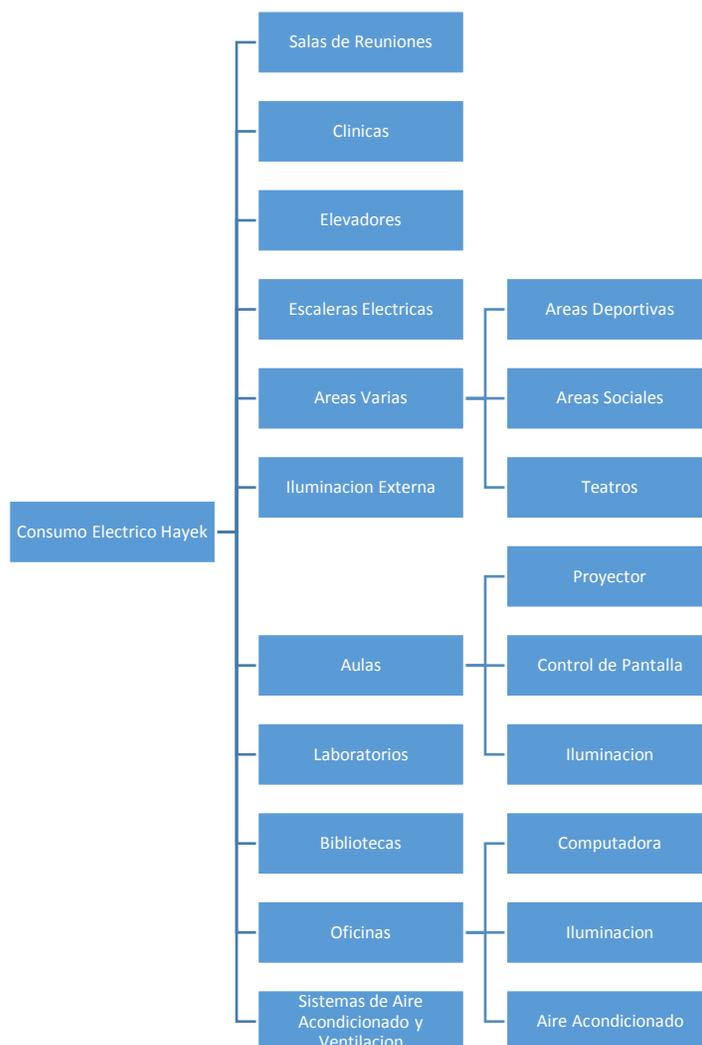


Figura 3. Distribución de Áreas de Consumo Significativo en Hayek

En total el edificio Hayek cuenta con 35 aulas, 36 laboratorios, 145 oficinas, 2 bibliotecas y 2 clínicas, con un promedio de ocupación de estudiante de 4 737 (Velasco, 2017), esto nos da un índice del volumen de personas y de las áreas que ocupan, y por lo tanto del consumo energético que estas personas supondrían al usar los distintos sistemas y equipos eléctricos dentro del edificio.

En un estudio realizado se encontró que el edificio Hayek representa el 32% del consumo eléctrico total de la USFQ en el 2017, y que el uso de ascensores y escaleras eléctricas constituye

alrededor del 13% del consumo eléctrico del edificio Hayek (Pérez, 2018). Las otras áreas en las cuales se distribuye el consumo eléctrico son: iluminación, equipos y máquinas de laboratorio, aire acondicionado y el consumo independiente que cada persona realiza dependiendo de sus actividades y el área en la que se encuentre. Otro factor que podría ser considerado en el consumo eléctrico es el del sistema de extracción de aire en los parqueaderos, sin embargo, se desconoce si este sistema fue tomado en cuenta al realizarse la recolección de datos del consumo eléctrico en el Hayek. Por esta razón, nos concentraremos en los ascensores, las escaleras eléctricas y los aires acondicionados, estos sistemas hacen uso de conceptos mecánicos y termodinámicos los cuales pueden ser estudiados y analizados desde el punto de vista de consumo energético, con el fin de proponer mejoras en su funcionamiento. No obstante, no se puede dejar de lado que el 68% del consumo eléctrico de la USFQ es proveniente del resto de edificios, ajenos al Hayek, y por lo tanto como una medida de control se establecerá la posibilidad de implementar un plan de monitoreo continuo. Este plan nos dará información del consumo eléctrico a tiempo real, este método de control no es necesario en el Hayek ya que este edificio posee un sistema de telemetría, por lo que si se desea se podría vincular ambos, pero sería necesario crear la estructura y la plataforma para que esto suceda, además de pedir las autorizaciones correspondientes a la empresa que instalo este sistema.

3.3 Plan de Ascensores y Escaleras Eléctricas

En el edificio Hayek existen en total 4 ascensores y 3 escaleras eléctricas, que se encuentran ubicados en pareja, y su principal uso es por estudiantes y profesores de la Universidad, pero a su vez son utilizados por personas externas a la universidad que se dirigen a las clínicas de la Universidad o al centro comercial Paseo San Francisco. Tanto los ascensores como las escaleras eléctricas responden al traslado de personas, para los ascensores en un

movimiento puramente vertical y para las escaleras una combinación, es decir un movimiento diagonal. Ambos a su vez proveen de comodidad a las personas, evitando el desgaste físico ocasionado por el traslado, así mismo, los ascensores son de mayor utilidad que las escaleras eléctricas para personas con discapacidad.

3.3.1 Ascensores

Hoy en día la mayoría de ascensores funcionan utilizando un contrapeso por cada cubículo, este contrapeso se conecta al ascensor por un sistema de poleas y cadenas, que de igual forma se encuentran conectados a un motor que se encarga de tener un mayor control del movimiento. Los ascensores del Paseo San Francisco son instalados por la empresa Coheco, quienes a su vez distribuyen los ascensores de marca Mitsubishi, dentro de la página web de Coheco se puede encontrar el manual de ascensores que ellos utilizan. Ya que en el Hayek se tienen 2 pares de ascensores, los cuales tienen diferentes características; el primer par (Par A) tiene un límite de 10 personas y 700kg, y el segundo par (Par B) tiene un límite de 14 personas y 1050kg. Ambos pares tienen una velocidad de 1m/s y fueron fabricados en el 2011. Con estas características se puede encontrar dentro del manual el Código específico para cada ascensor, para el Par A es el P-10 CO y para el Par B es el P-15 CO, esto nos sirve en caso de necesitar más detalles específicos de cada ascensor (Mitsubishi Electric). Es importante tomar en cuenta que dentro del manual se estipula que la norma usada es la japonesa, mientras que los ascensores instalados están bajo las normativas ecuatorianas CPE INEN 18 y RTE INEN 095, esta aclaración se le realiza para evitar confusión respecto a por que existen distintos máximos de masas; la norma japonesa considera un valor de masa promedio por persona de 65kg, mientras que la ecuatoriana establece un rango entre 66kg y 80kg por persona (INEN, 2007). Las normas ecuatorianas tienen un enfoque orientado hacia la seguridad y la operación de los ascensores, sin

embargo, no incluyen ningún tipo de restricción al uso y consumo de energía eléctrica que pueden generar los ascensores. A partir de esta información podemos establecer la base de operaciones realizadas por los ascensores y orientarlos hacia sus efectos mecánicos.

3.3.2 Cálculos Básicos del Movimiento de un Ascensor

El único movimiento realizado por un ascensor es ascendente o descendente, por lo que el contrapeso es el encargado de reducir el esfuerzo mecánico que se generaría en el motor, si este fuera el único encargado en realizar este movimiento. Por lo tanto, es importante comprender que la fuerza generada por el ascensor es directamente proporcional al número de personas y su masa, este valor es el único que varía ya que el contrapeso se mantiene constante al igual que la masa de la cabina. Determinar la masa del contrapeso puede resultar complicado ya que debe ser igual al máximo de la masa máxima permitida por el ascensor, más la masa de la cabina, más un sobredimensionamiento por seguridad.

$$P_{CP} = P_C + P_M + 100kg \quad \text{Ec. 1}$$

Donde,

P_{CP} es la masa del contrapeso.

P_C es la masa de la cabina.

P_M es la masa máxima permitida.

Por otro lado, la masa de la cabina tendrá variaciones dependiendo de los distintos componentes que sean colocados, como agarraderas o ventanas, y los materiales que hayan sido usados para su construcción. Dentro del manual de Mitsubishi se estipula que la masa de la cabina varía para cada modelo, pero una buena aproximación es un 1.5 de la masa máxima permitida. Por lo tanto:

$$P_{CP} = 1.5 P_M + P_M + 100kg$$

$$P_{CP(Par A)} = 1.5(700kg) + (700kg) + 100kg = 1850kg$$

$$P_{CP(Par B)} = 1.5(1050kg) + (1050kg) + 100kg = 2725kg$$

Una vez obtenido la masa del contrapeso se puede establecer una relación de fuerzas en la cabina para determinar la fuerza total que generarían sobre el motor. Ya que la acción del contrapeso genera una fuerza que mueve a la cabina de manera ascendente se puede simplificar el sistema, enfocándonos únicamente en la cabina.

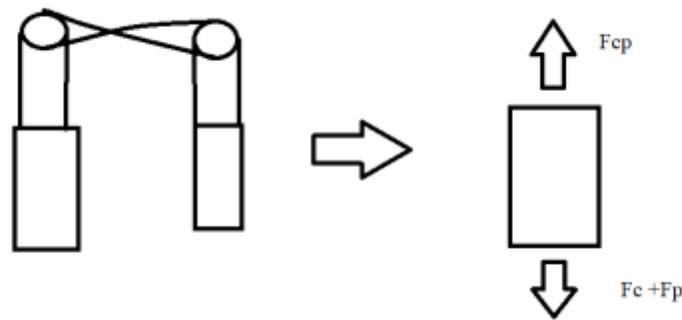


Figura 4. Diagrama de Fuerzas en la Cabina

$$F_N = F_{CP} - W_C - W_P \quad \text{Ec.2}$$

Donde,

F_N es la fuerza neta generada en la cabina.

F_{CP} es la fuerza generada por el contrapeso.

W_C es el peso de la cabina.

W_P es el peso de las personas.

Aquí consideraremos dos escenarios diferentes uno para el cual el ascensor se encuentra al máximo permitido (Caso 1) y otro en el cual solo una persona utiliza el ascensor (Caso 2), para cada persona se considerará un peso de 75 kg que se encuentra dentro del rango de la normativa ecuatoriana. La fuerza generada por el contrapeso será equivalente a la masa del contrapeso multiplicada por la aceleración de la gravedad, que es 9.81ms^{-2} . Por lo tanto:

$$F_{N(\text{Par A})} = (P_{CP} \times g) - (P_C + P_P)g$$

Donde,

P_P es la masa de las personas

g es la gravedad

$$F_{N(\text{Par A})(\text{Caso 1})} = \left(1850kg \times \frac{9.81m}{s^2}\right) - (1050kg + 700kg)9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{N(\text{Par A})(\text{Caso 1})} = 981N$$

$$F_{N(\text{Par A})(\text{Caso 2})} = \left(1850kg \times \frac{9.81m}{s^2}\right) - (1050kg + 75kg)9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{N(\text{Par A})(\text{Caso 2})} = 7112.25N$$

$$F_{N(\text{Par B})(\text{Caso 1})} = \left(2725kg \times \frac{9.81m}{s^2}\right) - (1575kg + 1050kg)9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{N(\text{Par B})(\text{Caso 1})} = 981N$$

$$F_{N(\text{Par B})(\text{Caso 2})} = \left(2725kg \times \frac{9.81m}{s^2}\right) - (1575kg + 75kg)9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{N(\text{Par B})(\text{Caso 2})} = 10545.75N$$

Como podemos ver para los dos casos se muestra que si este va al máximo permitido la fuerza generada es la mínima con 981 N para ambos pares, mientras que si solo una persona utiliza el ascensor la fuerza aumenta de manera considerable. Esto tiene sentido ya que el contrapeso está diseñado para soportar tanto la cabina como el máximo de personas, pero si este máximo no se cumple existe un mayor esfuerzo para poder mover la cabina.

Hasta este momento solo hemos considerado movimientos ascendentes que es la principal razón por la cual se utiliza un contrapeso, sin embargo, también se debe considerar movimientos de manera descendentes para conocer todo el alcance del funcionamiento del ascensor. Ya que el contrapeso está diseñado para ser más pesado que la cabina y las personas

que la usan, resultaría poco factible asumir que la cabina podrá mover al contrapeso, ya que si fuera así no sería necesario el uso de un motor. El motor usado en los elevadores facilita y controla la relación entre el contrapeso y la cabina, y es el que limita la velocidad de la cabina a 1m/s. Conociendo todo esto resulta más sencillo comprender el movimiento del ascensor usando ecuaciones de energías.

$$E_T = E_C + E_P \quad \text{Ec. 3}$$

Donde,

E_T es la energía total en el sistema.

E_C es la energía cinética del sistema.

E_P es la energía potencial del sistema.

Tanto la cabina como el contrapeso se moverán a la misma velocidad, sin embargo, para la energía potencial de cada uno se deberá considerar en la posición en la que están por lo que es importante analizar los siguientes casos:

- Cabina vacía sin energía potencial, contrapeso en el máximo punto de energía potencial. (Caso C)
- Cabina llena sin energía potencial, contrapeso en el máximo punto de energía potencial. (Caso D)
- Cabina vacía en el máximo punto de energía potencial, contrapeso sin energía potencial. (Caso E)
- Cabina llena en el máximo punto de energía potencial, contrapeso sin energía potencial. (Caso F)
- Cabina vacía y contrapeso en un punto intermedio. (Caso G)
- Cabina llena y contrapeso en un punto intermedio. (Caso H)

Los casos para los cuales una de las partes no tiene energía potencial se podrían considerar ideales ya que estas posiciones serían los puntos de partida para todos los movimientos. A su vez al analizar un punto intermedio se considerará que tanto la cabina como el contrapeso se encuentran en la misma posición, esto en la realidad no siempre sucede ya que depende de la programación del ascensor y del funcionamiento del motor. Finalmente, es importante considerar que la altura máxima de traslado del ascensor es de 20m.

$$E_T = \frac{1}{2}(P_C + P_P)v^2 + \frac{1}{2}P_{CP}v^2 + (P_C + P_P)gh + P_{CP}gh \quad \text{Ec.4}$$

Donde,

v es la velocidad.

h es la altura con relación al piso.

$$E_{T(\text{Par A})(\text{Caso C})} = \frac{1}{2}(1050\text{kg})(1\text{m/s})^2 + \frac{1}{2}1850\text{kg}\left(\frac{1\text{m}}{\text{s}}\right)^2 + 1850\text{kg}\frac{9.81\text{m}}{\text{s}^2}20\text{m}$$

$$E_{T(\text{Par A})(\text{Caso C})} = 364.42 \text{ kJ}$$

$$E_{T(\text{Par A})(\text{Caso D})} = \frac{1}{2}(1050\text{kg} + 700\text{kg})(1\text{m/s})^2 + \frac{1}{2}1850\text{kg}\left(\frac{1\text{m}}{\text{s}}\right)^2 + 1850\text{kg}\frac{9.81\text{m}}{\text{s}^2}20\text{m}$$

$$E_{T(\text{Par A})(\text{Caso D})} = 364.77 \text{ kJ}$$

$$E_{T(\text{Par A})(\text{Caso E})} = \frac{1}{2}(1050\text{kg})(1\text{m/s})^2 + \frac{1}{2}1850\text{kg}\left(\frac{1\text{m}}{\text{s}}\right)^2 + 1050\text{kg}\frac{9.81\text{m}}{\text{s}^2}20\text{m}$$

$$E_{T(\text{Par A})(\text{Caso E})} = 207.46 \text{ kJ}$$

$$E_{T(\text{Par A})(\text{Caso F})}$$

$$= \frac{1}{2}(1050\text{kg} + 700\text{kg})(1\text{m/s})^2 + \frac{1}{2}1850\text{kg}\left(\frac{1\text{m}}{\text{s}}\right)^2 + (1050 + 700)\text{kg}\frac{9.81\text{m}}{\text{s}^2}20\text{m}$$

$$E_{T(\text{Par A})(\text{Caso F})} = 345.15 \text{ kJ}$$

$$E_{T(\text{Par A})(\text{Caso G})}$$

$$= \frac{1}{2}(1050\text{kg})(1\text{m/s})^2 + \frac{1}{2}1850\text{kg}\left(\frac{1\text{m}}{\text{s}}\right)^2 + 1050\text{kg}\frac{9.81\text{m}}{\text{s}^2}10\text{m} \\ + 1850\text{kg}\frac{9.81\text{m}}{\text{s}^2}10\text{m}$$

$$E_{T(\text{Par A})(\text{Caso G})} = 285.94 \text{ kJ}$$

$$E_{T(\text{Par A})(\text{Caso H})}$$

$$= \frac{1}{2}(1050\text{kg} + 700\text{kg})(1\text{m/s})^2 + \frac{1}{2}1850\text{kg}\left(\frac{1\text{m}}{\text{s}}\right)^2 + (1050 \\ + 700)\text{kg}\frac{9.81\text{m}}{\text{s}^2}10\text{m} + 1850\text{kg}\frac{9.81\text{m}}{\text{s}^2}10\text{m}$$

$$E_{T(\text{Par A})(\text{Caso H})} = 354.96 \text{ kJ}$$

$$E_{T(\text{Par B})(\text{Caso C})} = \frac{1}{2}(1575\text{kg})(1\text{m/s})^2 + \frac{1}{2}2725\text{kg}\left(\frac{1\text{m}}{\text{s}}\right)^2 + 2725\text{kg}\frac{9.81\text{m}}{\text{s}^2}20\text{m}$$

$$E_{T(\text{Par A})(\text{Caso C})} = 536.80 \text{ kJ}$$

$$E_{T(\text{Par A})(\text{Caso D})} = \frac{1}{2}(1575\text{kg} + 1050\text{kg})(1\text{m/s})^2 + \frac{1}{2}2725\text{kg}\left(\frac{1\text{m}}{\text{s}}\right)^2 + 2725\text{kg}\frac{9.81\text{m}}{\text{s}^2}20\text{m}$$

$$E_{T(\text{Par A})(\text{Caso D})} = 537.32 \text{ kJ}$$

$$E_{T(\text{Par A})(\text{Caso E})} = \frac{1}{2}(1575\text{kg})(1\text{m/s})^2 + \frac{1}{2}2725\text{kg}\left(\frac{1\text{m}}{\text{s}}\right)^2 + 1575\text{kg}\frac{9.81\text{m}}{\text{s}^2}20\text{m}$$

$$E_{T(\text{Par A})(\text{Caso E})} = 311.17 \text{ kJ}$$

$$E_{T(\text{Par A})(\text{Caso F})}$$

$$= \frac{1}{2}(1575\text{kg} + 1050\text{kg})(1\text{m/s})^2 + \frac{1}{2}2725\text{kg}\left(\frac{1\text{m}}{\text{s}}\right)^2 + (1575 \\ + 1050)\text{kg}\frac{9.81\text{m}}{\text{s}^2}20\text{m}$$

$$E_{T(\text{Par A})(\text{Caso F})} = 517.70 \text{ kJ}$$

$$E_{T(Par A)(Caso G)}$$

$$= \frac{1}{2}(1575kg)(1m/s)^2 + \frac{1}{2}2725kg \left(\frac{1m}{s}\right)^2 + 2725kg \frac{9.81m}{s^2} 10m$$

$$+ 1575kg \frac{9.81m}{s^2} 10m$$

$$E_{T(Par A)(Caso G)} = 423.98 \text{ kJ}$$

$$E_{T(Par A)(Caso H)}$$

$$= \frac{1}{2}(1575kg + 1050kg)(1m/s)^2 + \frac{1}{2}2725kg \left(\frac{1m}{s}\right)^2 + (1575$$

$$+ 1050)kg \frac{9.81m}{s^2} 10m + 2725kg \frac{9.81m}{s^2} 10m$$

$$E_{T(Par A)(Caso H)} = 527.51 \text{ kJ}$$

Se puede observar que el punto en el que mayor energía se genera, sucede cuando el contrapeso se encuentra en la máxima altura y la cabina está llena, con una ligera variación con respecto a la cabina vacía. Esto ocurre directamente debido a la limitación de la velocidad que al ser igual a 1m/s no tiene mayor efecto dentro de la ecuación, y tiene sentido ya que el contrapeso es el componente con mayor masa en todo el sistema. A su vez, resulta llamativo que el Caso H sea el tercer caso con mayor energía ya que a partir de este punto intermedio, si la cabina sube el valor de la energía descenderá y si el contrapeso sube el valor de la energía aumentará.

También resulta relevante calcular cual es el trabajo que el ascensor realiza para trasladarse de un piso a otro (Caso I), o el traslado principal que realiza el ascensor (Caso J). Ya que ya tenemos la fuerza que genera la cabina, usaremos el Caso 2 ya que es el que mayor fuerza genera y el más relevante. La distancia entre pisos en el Hayek no es constante entre ellos ya que existen dos pisos cuya altura es mayor que la de los demás, el estándar mínimo de traslado es de 2.5 m. A su vez, para conocer cuál es el traslado principal que se realiza se deberá suponer que la

mayoría de personas que utilizan el ascensor se dirigen a la Universidad o hacia el campus Hayek este es el Piso P, según las denominaciones del ascensor, y piso en la que la mayoría de estudiantes parquea su carro es el S1, esto quiere decir que existen 3 pisos de traslado, sin embargo, 1 de estos pisos tiene el doble de altura de los demás, por lo que la distancia total será de 10. Usando la ecuación de trabajo (T) podremos relacionar la fuerza realizada y la distancia recorrida (d).

$$T = F_N \times d \quad \text{Ec. 5}$$

$$T_{(Par\ 1)(Caso\ I)} = 7112.25N \times 2.5m$$

$$T_{(Par\ 1)(Caso\ I)} = 17.781\ kJ$$

$$T_{(Par\ 2)(Caso\ I)} = 10545.75N \times 2.5m$$

$$T_{(Par\ 2)(Caso\ I)} = 26.365\ kJ$$

$$T_{(Par\ 1)(Caso\ J)} = 7112.25N \times 10m$$

$$T_{(Par\ 1)(Caso\ I)} = 71.123\ kJ$$

$$T_{(Par\ 2)(Caso\ I)} = 10545.75N \times 10m$$

$$T_{(Par\ 2)(Caso\ I)} = 105.458\ kJ$$

Así se puede determinar que el trabajo para recorrer un piso estándar es 17.78kJ para el par 1 de ascensores y 26.37kJ para el par 2 de ascensores, y la relación con respecto al traslado principal es 4 veces mayor que la del traslado estándar.

A partir de estos cálculos hemos determinado ciertos parámetros básicos del movimiento mecánico que realizan los ascensores, no obstante, es importante tomar en cuenta que los ascensores también cuentan con un sistema de ventilación, iluminación y de componentes eléctricos que en conjunto son los encargados del funcionamiento correcto del ascensor. Otro componente esencial de los ascensores y del que se ha discutido brevemente es el motor, es el

encargado de controlar la velocidad de la cabina y del contrapeso, asistir a la cabina cuando esta desciende y evitar que el contrapeso caiga de manera libre, es decir, también cuenta con un sistema de frenado. Es por esto que el motor es el componente principal y el consumo eléctrico del sistema es directamente proporcional a la potencia del motor, este dato una vez más puede ser obtenido a partir de los manuales y se encuentra que para nuestro Par 1 la potencia es de 5.6kW y para el Par 2 es de 11kW (Coheco[1]). Todos estos aspectos del funcionamiento de los ascensores nos permiten proponer soluciones para mejorar el desempeño energético de este tipo de sistemas.

3.3.3 Escaleras Eléctricas

Las escaleras eléctricas tienen una gran diferencia con los ascensores ya que estas funcionan constantemente y no dependen de la interacción con las personas para cambiar su funcionamiento, esto es una desventaja y una ventaja ya que las personas no necesitan esperar para usarlas, pero al estar en uso constante consumo la misma energía indiferente de si una persona las utiliza o lo hacen cien. Esto quiere decir que el componente principal de las escaleras eléctricas es el motor que controla los dos sistemas de transportadores por correa y un sistema de transportador por cadena, el sistema de corra se lo utiliza para manejar el pasamanos, mientras que el sistema de cadena maneja los pasos, la combinación de estos sistemas hace que el funcionamiento de las escaleras sea silencioso y suave (Fontur.com).



Figura 5. Partes y Componentes de la Estructura Superior de la Escalera. (Sánchez, 2011)



Figura 6. Partes y Componentes de la Estructura Inferior de la Escalera. (Sánchez, 2011)

En estas figuras se pueden ver los distintos componentes dentro de las escaleras eléctricas, a su vez es importante mencionar que el motor está acompañado de un reductor y un freno para manejar la operación de las escaleras, el reductor está conectado al eje del motor y se

encuentra compuesto de un conjunto de engranajes que son los que ofrecen una gran capacidad de carga y bajo ruido (Fontur.com). El diseño de escaleras eléctricas toma en consideración las siguientes características como los aspectos más importantes para la construcción:

- Ancho de la Escalera
- Velocidad
- Inclinación
- Capacidad Máxima de Pasajeros

Que para nuestro caso de estudio y utilizando el manual de las escaleras instaladas en el edificio Hayek son las siguientes:

Tabla 2. Datos de las Escaleras Eléctricas usadas en Hayek. (Coheco[2])

| Serie Z Modelo S600 | |
|--|-----------------------------|
| Ancho de la Escalera | 1150mm |
| Ancho de los Pasos | 604mm |
| Velocidad | 0.5m/s |
| Inclinación | 30°/35° |
| Capacidad Máxima de Pasajeros | 4500 personas por hora |
| Capacidad Máxima de Pasajeros (Hora Pico) | 500 personas por 10 minutos |

A partir de estos datos podemos conocer la operación de las escaleras eléctricas, como fue pensado su diseño inicial y cómo se comporta, esto nos ayudara para determinar si la instalación de las escaleras eléctricas es justificada dentro del edificio Hayek.

3.3.4 Registro de Datos del Uso de Escaleras y Ascensores

Una vez que hemos identificado los aspectos básicos tanto de ascensores como de escaleras eléctricas podemos pasar a buscar una forma de predecir su comportamiento real, y como están siendo utilizados. Esto a su vez nos permitirá plantear acciones que reduzcan el

consumo energético de este equipo, como un primer indicador de su desempeño energético, e identificar otros factores que puedan ser relevantes para nuestro estudio.

Predecir el comportamiento de las personas es una tarea complicada, por lo que cuando se busca determinar como el comportamiento de las personas afecta el consumo eléctrico es útil realizar mediciones de aquello sobre lo cual si podemos predecir cómo funcionan: las máquinas y los equipos. Ya que estos equipos dependen de la electricidad para funcionar, se puede medir cómo interactúan con esta mediante el uso de analizadores de poder trifásicos, los cuales nos permiten llevar a cabo diagnósticos del consumo eléctrico y registrar estos datos para poder visualizarlos. En este estudio se utilizará el equipo AEMC 8336, que será instalado por una semana en el tablero de ascensores y escaleras eléctricas, pertinentes al edificio Hayek.



Figura 7. Conexión del Equipo al Tablero de Ascensores y Escaleras

Es importante recalcar que este tablero controla tanto los 2 sets de ascensores y los 3 sets de escaleras eléctricas del edificio Hayek, así como 4 ascensores que pertenecen al centro

comercial Paseo San Francisco. La adición de estos 4 ascensores supondría que no solo se toma en cuenta el volumen de personas que se dirigen al Hayek, pero también los que se dirigen al centro comercial, esto ocasiona que nuestros datos puedan tener comportamientos directamente correspondientes a las actividades del centro comercial, sin embargo, debido a que estos ascensores también son usados por estudiantes y profesores si tienen relevancia para nuestro estudio. El equipo de medición fue conectado desde el lunes 19 de noviembre del 2018 a las 9:32 am, y fue retirado el lunes 26 de noviembre de 2018 a las 9:29am, y se lo programo para que mida los datos cada min, durante este tiempo el equipo se encarga de almacenar los datos de corriente, voltaje, potencia, energía, entre otras. La razón por la cual se instaló el equipo durante una semana es que se considere este tiempo como el mínimo debido para entender el comportamiento de los equipos, y a su vez permite revisar cada con más detalle que ocurre cada día, así como también realizar predicciones a futuro. A continuación veremos las gráficas que el equipo generó por medio de la aplicación PowerPad, para estas se debe considerar que la

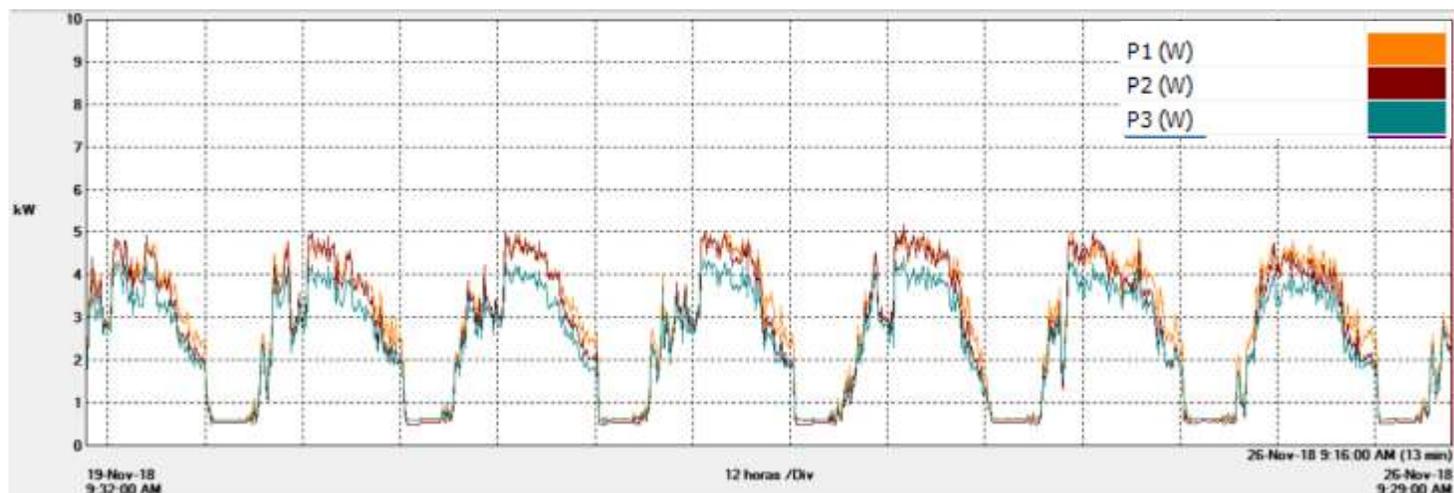


Figura 8. Potencia (kW) para Cada Fase obtenida del tablero de ascensores y escaleras eléctricas aplicación nos mostrara el promedio de los datos obtenidos de forma que resulta más sencillo leer las graficas.

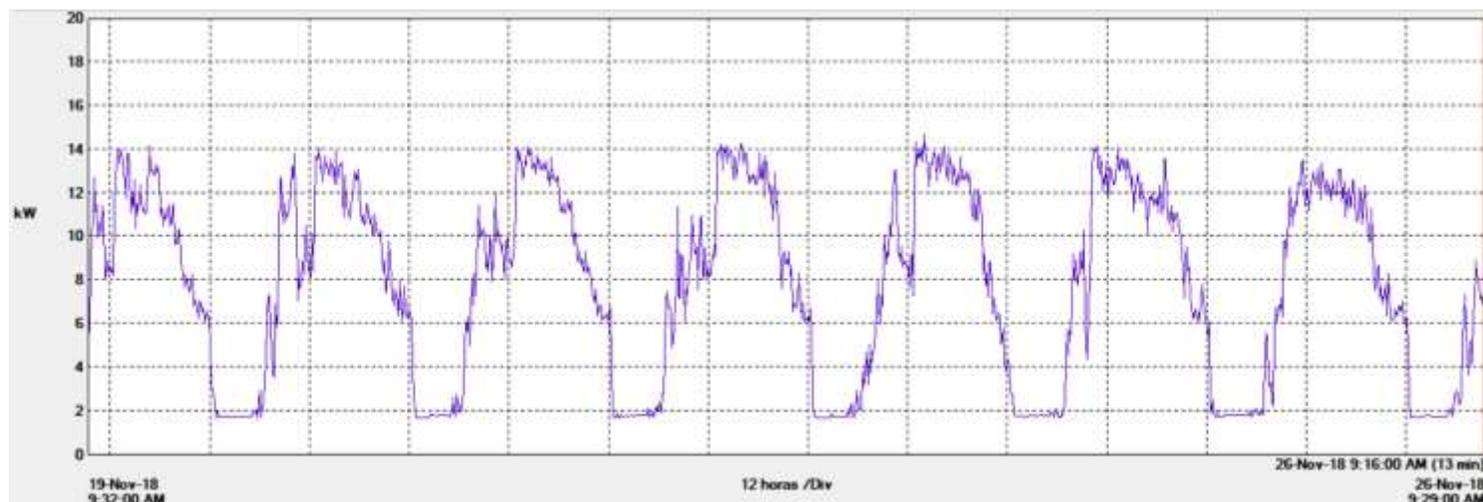


Figura 9. Potencia (kW) Total obtenida del tablero de ascensores y escaleras eléctricas

En la figura 8 se puede observar el comportamiento durante la semana de la potencia utilizada por los motores para cada una de sus fases, esta grafica es importante para conocer si existe algún desbalance entre las fases, esto nos indicaría si existe alguna falla en las conexiones y esto puede generar pérdidas; como se puede ver no existe un mayor desequilibrio y las fases se encuentran balanceadas. Al sumar las tres fases se obtiene la potencia total que se puede observar en la figura 9, esta resulta de mayor utilidad para realizar predicciones ya que nos muestra el comportamiento acumulado de los motores. Aquí se puede observar que durante la semana el comportamiento es bastante similar; se tiene caídas de Potencia a las 12:00am, donde permanece casi constante por alrededor de 6 horas, pero manteniendo un consumo cercano a 2kW. También se puede observar que los picos más altos se producen cerca de las 12:00pm y que la potencia se mantiene entre 6 y 14kW la mayor parte de los días, con la excepción de picos altos y bajos que se pueden considerar como valores atípicos dentro de los datos. Se tenía considerado que el consumo de potencia iba a disminuir los días viernes, sábados y domingos, ya que estos días la mayoría de carreras de la universidad no tiene clases, sin embargo, se puede ver como el día

viernes aunque varía ligeramente con las otras tiene un comportamiento bastante similar, mientras que los días sábado y domingo si se puede observar una diferencia con respecto a los otros días pero la potencia se mantiene en los mismos rangos, con una disminución especialmente en el día domingo. Este comportamiento inesperado puede ser debido a:

- El funcionamiento del centro comercial como tal.
- Las clínicas médicas ubicadas en el Hayek.
- El Business School y sus actividades.
- Estudiantes y Profesores que asisten de igual forma.
- Otras Actividades que se realicen en Hayek (Eventos, cursos, clases extras, etc.)

Esto nos indicaría que el flujo de personas que utilizan el Hayek estos días no es tan bajo como se esperaba.

Ya que los días importantes para estudio son los días de clase, es decir de lunes a jueves, y se puede ver que incluso con las ligeras variaciones que se tiene cada día si se mantiene una forma similar, resulta útil analizar la potencia en un solo día para poder encontrar comportamientos con una mayor precisión.

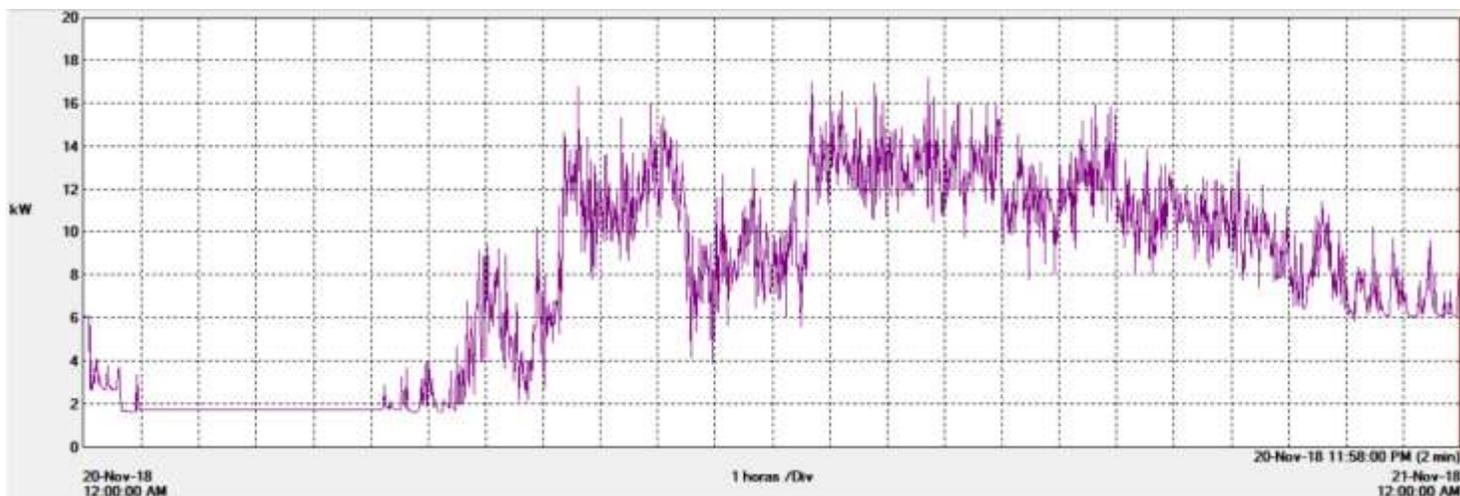


Figura 10. Potencia (kW) Total obtenida del tablero de ascensores y escaleras eléctricas para el día martes 20 de Noviembre de 2018

En esta figura podemos observar como la potencia se mantiene constante desde la 1:00am hasta las 5:00am con un valor de 1.7kW, a partir de esta hora empieza a haber actividad por el consumo se va incrementado poco a poco hasta tener un incremento alto a las 7:00am, lo que tiene sentido al ser esta la primera hora de clases. Luego, se puede ver que aumenta aun más hasta llegar al pico más alto a las 8:30 con un valor de 17kW, esta corresponde a la segunda hora de clases. A partir de este punto la potencia se mantiene en valores altos entre 10 y 16kW, pero disminuye pasado las 10:00am donde la potencia se mantiene en una variacion baja entre 6 y 12kW, para finalmente volver a incrementar ha medida que se llega a las 12:00pm, una vez en este punto la potencia se mantendra en sus variaciones más altas de todo el día, entre 12 y 16kW, por 3 horas. Una vez pasadas las 4 de la tarde la potencia bajara poco a poco, esto puede ser debido a que la gente va desocupando gradualmente el lugar, y algunas escaleras electricas son apagadas mientras que los ascensores entran en un modo de hibernacion. A las 12:00am se ve la caída más pronunciada que corresponderia al apagado de ciertos sistemas y se genera el consumo de potencia constante.

Una vez que conocemos el comportamiento de la potencia a través de la semana resulta útil, conocer como se esta consumiendo la electricidad en este mismo periodo de tiempo, esto ya nos dara valores que podemos comparar con estudios realizados anteriormente.

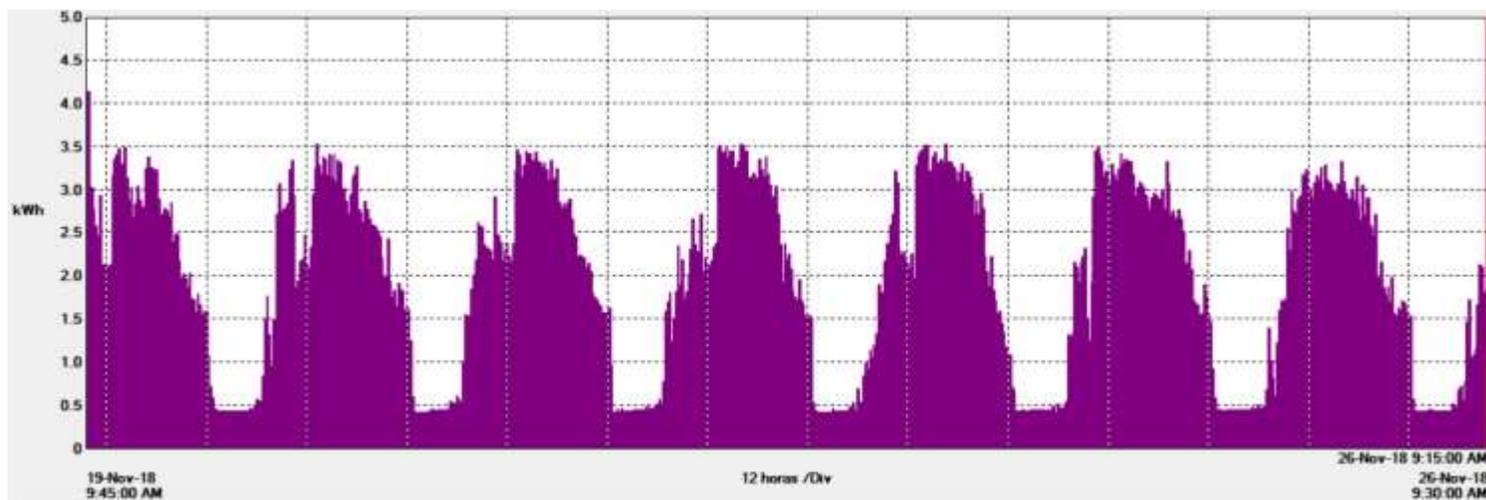


Figura 11. Consumo Eléctrico (kWh) total obtenido del tablero de ascensores y escaleras eléctricas con un periodo de agregación de la energía de cada 15 min

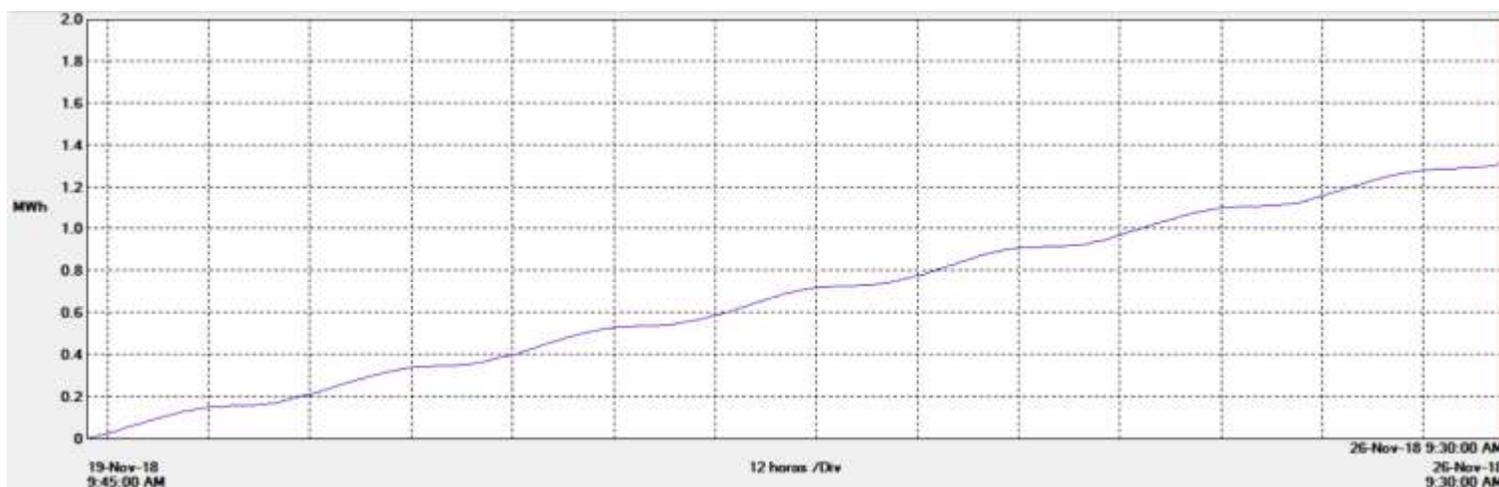


Figura 12. Consumo Eléctrico (kWh) total Acumulado obtenido del tablero de ascensores y escaleras eléctricas

En la Figura 11 se puede ver el comportamiento del consumo eléctrico durante la semana y una de las primeras conclusiones que se puede sacar es que como era de esperarse se asemeja bastante al consumo de potencia, por lo que para estudiar el consumo eléctrico resulta más practico analizar cómo se va acumulando, ya que de esta forma es como se calcula y se cobra en

las plantillas de luz, esto se puede ver en la Figura 12. De esta grafica obtenemos que el consumo eléctrico de ascensores y escaleras en una semana equivale a 1.314MWh, esto representa un gasto mensual de \$581.73. Si comparamos este valor de consumo con el estudio de la Huella de Carbono de la USFQ donde el consumo promedio mensual fue de 270MWh, tendríamos que las escaleras y ascensores del Hayek representan el 2.16% del consumo total de la universidad, y el 6.74% del consumo solo del edificio Hayek, esto nos lleva a concluir que para el estudio de la Huella de Carbono se realizó una sobreestimación del consumo eléctrico de las gradas. La característica de esta grafica que nos permite realizar este tipo de predicciones es la linealidad que se tiene, ya que a pesar de tener subidas y bajadas en el consumo parece mantenerse en la misma orientación, lo que nos permite realizar una línea de tendencia para comprobarlo.

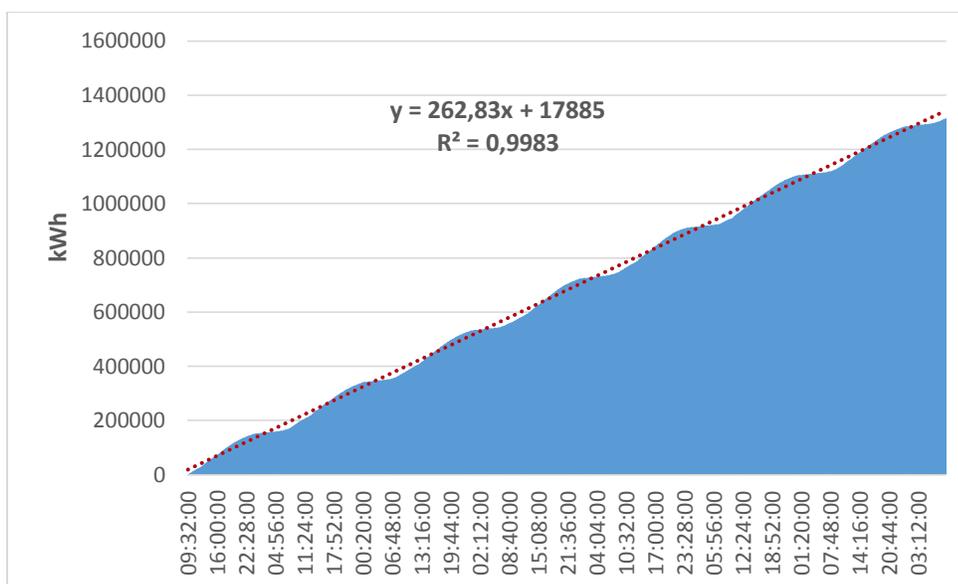


Figura 13. Línea de Tendencia para el Consumo Eléctrico Acumulado

Ya que tenemos una línea de tendencia con un valor de R^2 igual a 0.9983, es decir muy cercano a 1, nuestra estimación de que el consumo eléctrico corresponde a un comportamiento lineal es adecuado. Además, se pudo obtener la ecuación de esta línea que es igual a $y = 262.83x + 17885$, por lo que sustituyendo el valor de x para el tiempo que deseemos, tomando en cuenta

los respectivos cambios de tiempo (se pueda usar la función VALHORA en Excel), que nos permite tener datos de consumo a futuro, siempre y cuando la tendencia se mantenga igual.

Finalmente, existe un término que es un claro indicador del desempeño energético de los motores que están siendo utilizados y es el factor de potencia.

[El factor de potencia] es la relación entre la potencia activa, P (kW), y la potencia aparente, S (kVA); siendo un término usualmente utilizado para indicar la cantidad de energía eléctrica que se ha convertido en trabajo. (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2018)

Este factor es importante de considerar ya que la Empresa Eléctrica penaliza cuando se tiene un factor de potencia menor a 0.92 de la siguiente forma:

$$B_{fp} = \left(\frac{0.92}{fp_r} \right) - 1 \text{ Ec.5 (Agencia de Regulacion y Control de Electricidad, 2018)}$$

Donde,

B_{fp} es el factor de penalización.

fp_r es el factor de potencia registrado

Ya que el factor de potencia es una relación entre la potencia, el voltaje y amperaje resulta interesante analizar estas graficas junto a la del factor de potencia.

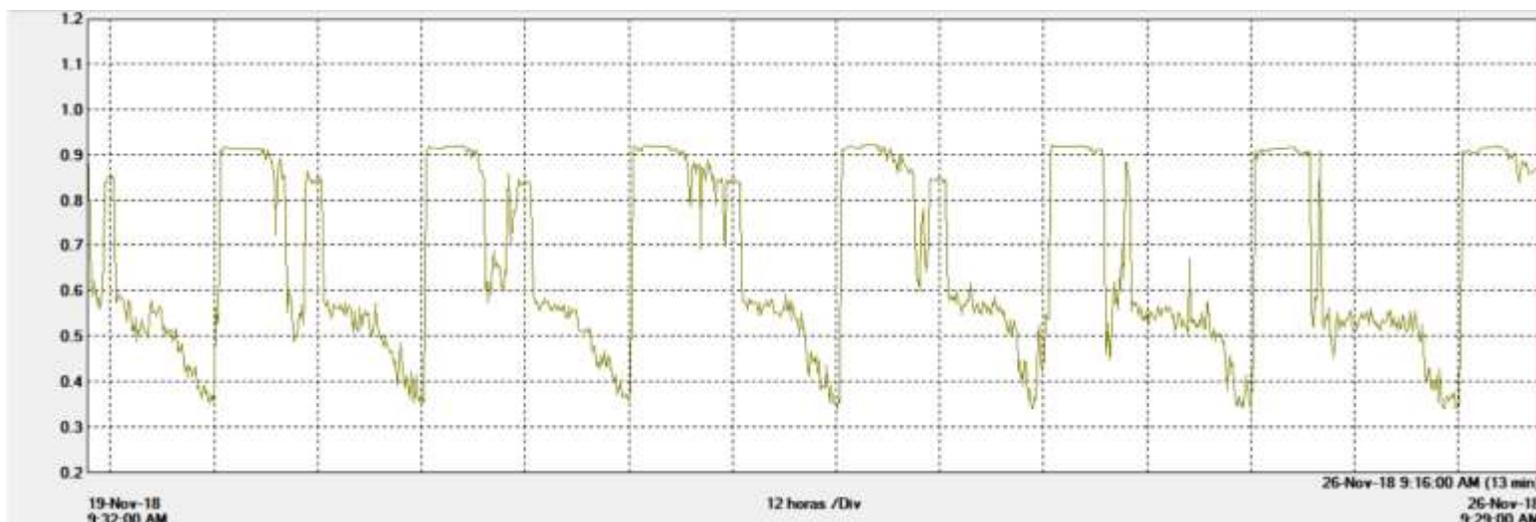


Figura 14. Factor de Potencia obtenido del tablero de ascensores y escaleras eléctricas

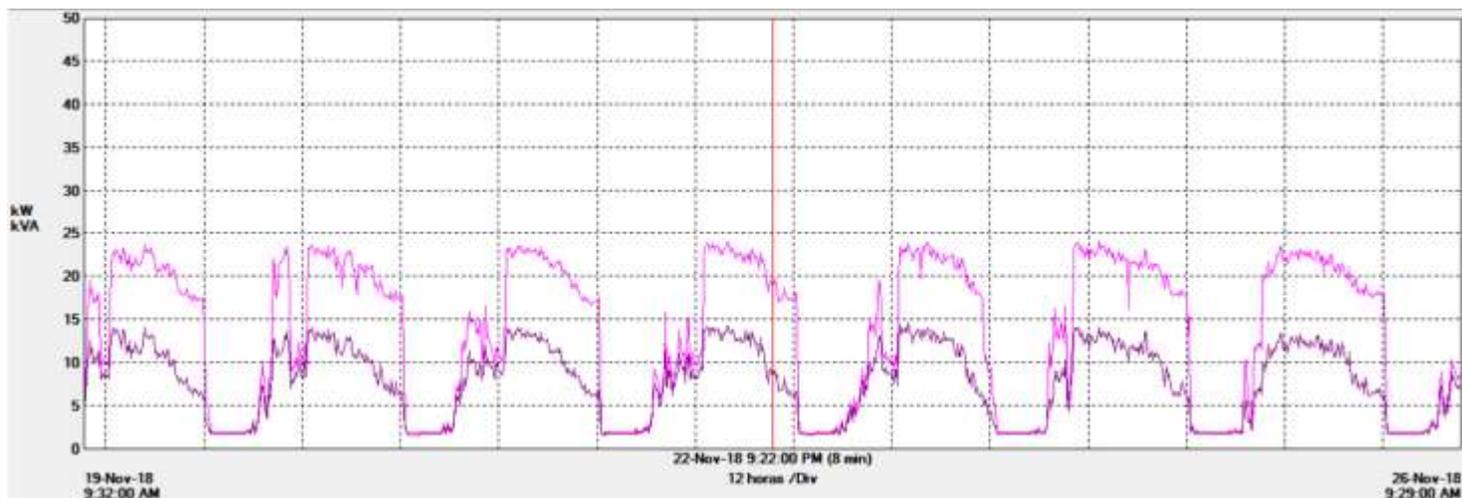


Figura 15. Potencia Aparente (kVA) total y Potencia (kW) total obtenida del tablero de ascensores y escaleras eléctricas

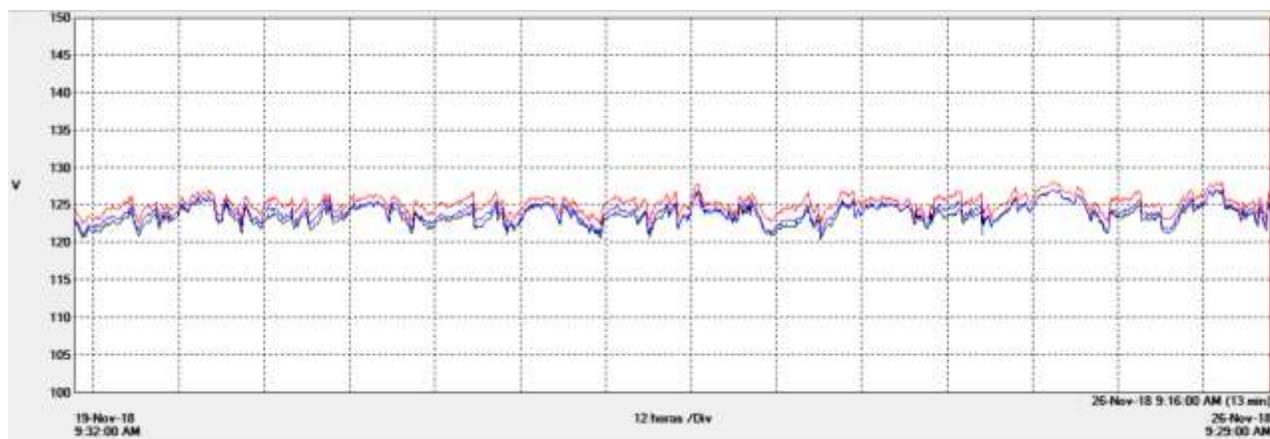


Figura 16. Voltaje (V) de Cada Fase obtenido del tablero de ascensores y escaleras eléctricas

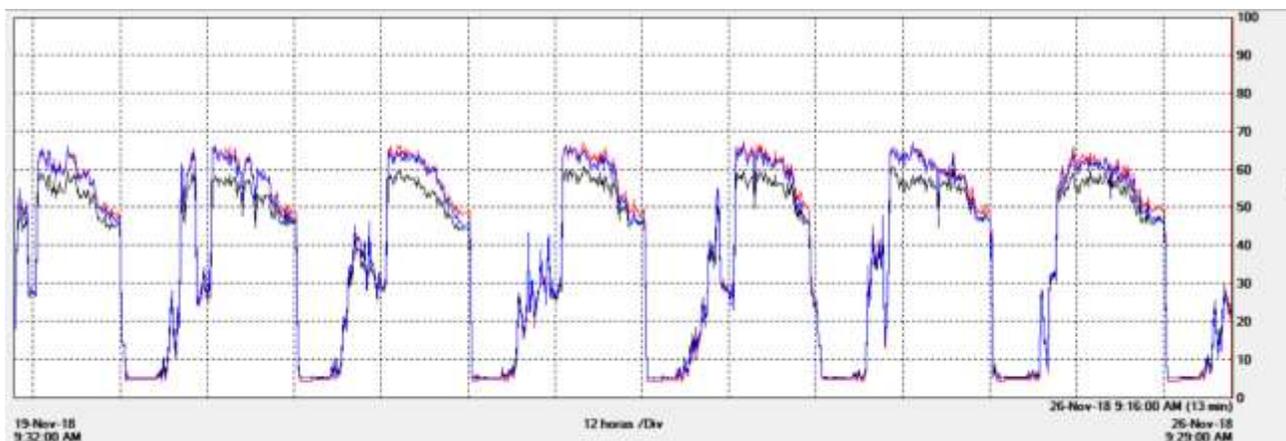


Figura 17. Amperaje (A) de Cada Fase obtenida del tablero de ascensores y escaleras eléctricas

En la Figura 14 podemos ver que el factor de potencia para el tablero se mantiene por debajo del valor de penalización, con la excepción de las horas en las cuales la potencia se mantiene constante. Esto era de esperarse al comparar la gráfica de la potencia con la de la potencia aparente, ya que se nota claramente que la potencia aparente tiene valores mayores que la potencia, incluso parece duplicarlo en muchos puntos por lo que el factor de potencia se mantiene entre 0.5 y 0.6 la mayor parte del tiempo. La razón por la cual este fenómeno ocurre es debido al efecto de la carga eléctrica, ya que esta es la que aumenta el valor de la potencia aparente, esto se interpreta fácilmente cuando se observa en la Figura 16 que el voltaje se mantiene básicamente constante oscilando entre los valores de 120V y 130V, por lo que el factor con más peso sobre la potencia aparente es el del amperaje, esto se aprecia al comparar las gráficas de factor de potencia y amperaje que aparentan tener una relación inversa entre ambas.

A partir de los datos obtenidos y las gráficas generadas por la aplicación PowerPad hemos obtenido aspectos importantes a tomar en cuenta en las distintas soluciones que se pueden plantear para reducir el consumo energético. Aplicando esta información justificaremos las soluciones que pasaremos a proponer.

3.3.5 Soluciones para Ascensores y Escaleras Eléctricas

Nuestras soluciones tendrán dos acercamientos distintos: uno más relacionado a la gestión y manejo de los sistemas actuales con implementaciones más simples, mientras por otro lado tenemos soluciones con una implementación más compleja y con inversiones altas de dinero.

La primera alternativa encontrada y la más atractiva de todas es la de reducir el consumo eléctrico entre la 1:00am a las 5:00am de 1.7kW a 0, ya que en estas horas ninguno de estos equipos debería estar en uso o seguir consumiendo energía. La propuesta en este caso es la instalación de un contactor el cual puede ser programado para apagar los breakers a la 1:00am, esto aseguraría que no se pueda consumir electricidad hasta las 5:00am donde se vuelven a prender. Esto supondría ahorrar 6.8kWh diarios, o 27.2kWh mensuales, equivalentes a un monto \$21.08 que se pierden cada mes solo por no desconectar por completo los equipos.

Las otras alternativas que se pueden plantear y no requieren de ningún tipo de costo es la de desconectar los ascensores y las escaleras eléctricas. Esta alternativa resulta menos atractiva ya que muchas veces se vela más por la comodidad del ser humano, que por el impacto que generar esta comodidad genera. Sin embargo, se puede ver que para el caso de las gradas eléctricas las características de la misma nos indica que tiene una capacidad máxima de carga de 4500 personas por hora, pero la ocupación diaria de estudiantes del Hayek es cercana a 4700 personas, lo que nos muestra que las escaleras eléctricas están siendo subutilizadas y no es justificable su implementación. Ahora, para conocer su ahorro se conoce que la potencia de las escaleras eléctricas debería permanecer en esencia constantes ya que su tipo de funcionamiento no cambia, al realizar siempre la misma actividad y es indiferente al número de personas, ya que es muy poco probable que se llegue a su capacidad máxima. Por lo que a partir de la gráfica se

puede encontrar un punto en el cual la potencia no baje durante el día, si observamos la figura 9 se puede estimar que alrededor de 6kW parece tanto el punto de partida y el punto de salida de todos los días, a este punto siempre lo pre sigue o lo ante sigue una caída o una subida precipitada, respectivamente. A su vez también sabemos que el consumo máximo de potencia correspondería al uso de todos los ascensores eléctricos al mismo tiempo y esto equivale a 17kW, eso nos indicaría que el consumo solo de ascensores sería de 11kW para los 8 ascensores mientras que para los 3 sets de escaleras eléctricas correspondería los 6kW previamente discutidos. En valores porcentuales esto significaría que el consumo total de potencia del tablero corresponde a un 35.3% para las escaleras eléctricas, y un restante 64.7% para las escaleras eléctricas, al entender que la potencia tiene una relación directa con el consumo eléctrico se puede aplicar estos porcentajes al consumo eléctrico total para conocer el posible ahorro que genera desinstalar las escaleras eléctricas. Ya que al mes se tiene un gasto de \$581.73 total proveniente del tablero, el 35.3% que corresponde a escaleras eléctricas supondría un gasto de \$205.35 mensuales, unas escaleras eléctricas que están diseñadas para llevar el mismo número de estudiantes que asisten al edificio Hayek en una sola hora, por lo que su desinstalación tiene una fuerte justificación no solo por el poco uso que se les da, pero también por el ahorro que supondría, así como otros posibles beneficios como podría ser la actividad física generada por subir y bajar gradas.

Por otro lado, cuando hablamos de ascensores resulta aún más complicado hablar de desechar su uso por completo, en especial si tomamos en cuenta que proveen de una gran asistencia para personas con discapacidad. Sin embargo, si hablamos de un total de 8 ascensores, y asumimos que los 4 ascensores correspondientes al centro comercial bajo ningún concepto serían detenidas debido a que el centro comercial siempre buscara ofrecer de la mayor

comodidad posible a sus clientes, esto nos los 4 ascensores del edificio Hayek sobre los cuales podemos explorar soluciones. Ya que estos 4 ascensores se encuentran en parejas, se propone detener un ascensor por cada pareja, esto significaría que todavía existe la movilidad para personas con discapacidad o que realmente necesiten tomar el ascensor, así como también se obligaría a las personas a llenar con más frecuencia los ascensores al existir menor demanda de los mismos y por lo tanto volver el funcionamiento de estos ascensores más eficiente al ir una mayor parte del tiempo llenos. De manera consecuente, se podría estimar el ahorro entendiendo que para el consumo total de energía cada ascensor contribuye el 8.09%, por lo que detener 2 ascensores generaría un ahorro mensual de \$94.09. Otro factor que se debe tomar en cuenta y que resulta difícil calcular que ahorro generaría, es el de la reducción del mantenimiento ya que al no ser usados los ascensores su vida útil aumentaría, debido al desgaste natural que se genera cuando equipos están en funcionamiento. De esta forma se podría incluso crear un ciclo en el cual; si uno de los ascensores que se encuentran detenidos debe entrar en mantenimiento se activa su par, y así sucesivamente se pueden intercambiar.

Nuestras soluciones planteadas serán resumidas en una tabla que muestre el ahorro de cada una, y con una gráfica que muestre el consumo de potencia modificado que se vería de implementar las 3 soluciones al mismo tiempo.

Tabla 3 Propuestas para ascensores y escaleras eléctricas con su respectivo ahorro

| PROPUESTA | AHORRO |
|-------------------------------------|------------------|
| Instalar un Contactor en el Tablero | \$21.66 mensual |
| Detener 2 ascensores | \$94.09 mensual |
| Desinstalar las escaleras | \$205.35 mensual |

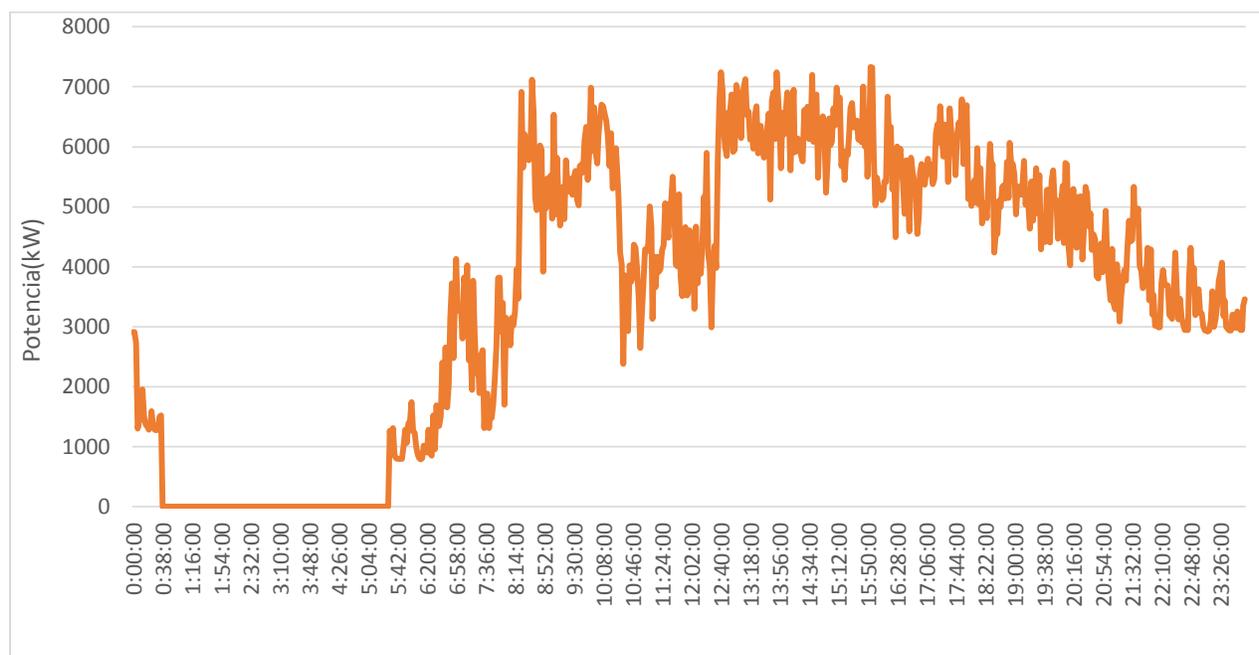


Figura 18. Potencia (kW) modificada para predecir el comportamiento de aplicar las soluciones

Fuera de estas soluciones planteadas existen otras con un nivel de complejidad mayor, o una alta inversión, y los cuales resultan difíciles de estimar en cuanto al ahorro que generaría ya que su comportamiento en la vida real necesitaría una nueva medición de datos para conocer cuál es su funcionamiento. Conociendo esto la primera de esta tipo de soluciones que se puede plantear es respecto al funcionamiento de los motores de los ascensores y escaleras eléctricas ya que como se pudo ver en la figura del factor de potencia se mantiene por debajo del valor permitido una mayor parte del tiempo, esto significaría que si el costo de electricidad fuera aplicado únicamente a este tablero existiría una fuerte penalización, pero ya que la planilla eléctrica cobra a todos los tableros que conforman el Hayek, el factor de potencia global del edificio se mantiene en valores mayores a 0.92 para evitar multas. Sin embargo, esto no implica que el hecho de tener un factor de potencia bajo no deba ser una preocupación ya que un valor bajo implica que se está consumiendo mucho más de lo que se está usando y que existen

oportunidades de mejora dentro del motor. El avance tecnológico en motores es continuo, pero a su vez tiene un costo elevado lo que lo hace poco accesible para todos, por ello es importante que la empresa que los fabrica, como en esta caso Mitsubishi, se encuentre en una constante mejora de sus motores, tanto en su compromiso por reducir las emisiones que estos generan, como en los certificados que incluyen dentro de su manual como una muestra de su compromiso al planeta: ISO 9001 e ISO 14001(Mitsubishi Electric [1]). Esto implica una revisión en los componentes del motor, cómo funciona el sistema de frenado, podría incluso llegar a pensarse en un sistema regenerativo que aproveche la energía que genera el contrapeso para auto sustentarse, algunas de estas ideas ya se encuentran siendo planeadas y se espera que poco a poco se puedan volver una realidad.

No obstante, los motores no son el único aspecto que puede ser mejorado, ya que un factor importante en el funcionamiento de las escaleras y ascensores es la programación que se tiene. La programación le dice al motor como funcionar y se la pueda configurar de distintas formas, por lo que tiene un potencial muy alto para ser una solución que reduzca el consumo de energía, aún más, si se la complementa con la implementación debida. Una programación inteligente de un ascensor llevaría a que está de por si trate de generar la ruta que considere más eficiente, o que a partir de las interacciones que tenga con los operadores, vaya registrando de qué forma puede funcionar para consumir menos energía. Todo esto apunta a que a medida que se desarrolla la inteligencia artificial existe un campo para que esta sea incluida en los ascensores, ya que una programación que pueda aprender de sus usuarios y cambiar con ellos, modificando su funcionamiento pero teniendo de fondo la idea de reducir el consumo que genera, sería un cambio significativo para la tecnología de los ascensores. Este tipo de programación sea probablemente algo que veamos en un futuro, pero por el momento si se puede

realizar programación que sea asistida por medio de sensores o controladores que facilitan la forma en la que el ascensor funciona. Uno de los ejemplos que se puede dar es el revertir la forma en la que se controla el ascensor, es decir, en el piso en el que te encuentras tu informas al ascensor a que piso deseas ir, al tener distintas personas con distintos destinos el ascensor podría elegir el camino optimo tanto para recoger como dejar a los pasajeros, considerando a su vez de qué forma podría reducir su consumo energético. Otra posibilidad sería la de directamente configurar un ascensor para que este se traslada solo entre los dos pisos más usados, como se discutió anteriormente el hecho de que los ascensores se encuentren en movimiento constante y puedan trasladarse desde el piso más bajo hacia el más alto aumenta el consumo del mismo. Este tipo de configuración agilizaría el movimiento de las personas, pero también implicaría que una vez más se incentive a que el ascensor viaje lleno, debido a la demanda que existen para moverse entre ambos pisos y la conveniencia que esto genera para las personas. De igual forma, se podría utilizar controladores de los ascensores como son las tarjetas magnéticas, ya que la universidad cuenta con guardianía constante se puede dejar la responsabilidad a los guardias de permitir el uso de ascensores únicamente para personas que realmente los necesiten, esto tendría beneficios similares a la idea de detener por completo los ascensores ya que se evita el uso constante de estos y se limita a una pequeña población, y de igual forma que esa propuesta se puede implementar tan solo en un ascensor por cada par. Estos escenarios deberían ser probados y estudiados, así como la alternativa de detener directamente los ascensores, ya que ambos podrían ser solo implementados fuera de las horas pico, así no causaría mayores molestias a las personas, y finalmente se demostraría su efectividad.

Para el caso de escaleras eléctricas la programación resulta más complicada ya que no existe una interacción tan directa entre el usuario y las escaleras, sin embargo si se puede

implementar ciertas propuestas. La primera, y la más simple, es programar a las escaleras para que funcionen solo a ciertas horas, de esta forma se tiene un horario de funcionamiento de las mismas. La segunda, y la más atractiva, es instalar un sensor que asista a la programación y al motor, este sensor puede informarle directamente al motor para que pasado cierto tiempo de estar sin uso baje la potencia que está consumiendo, entrando en un estado de hibernación. Este estado tiene el nombre de operación lenta en espera, aquí las escaleras reducen su velocidad hasta que una persona las utilice, esto reduce el consumo eléctrico de las escaleras en un 20% comparado al normal (Mitsubishi Electric [2]). La información proveniente del sensor también nos permitiría controlar la forma en la que está siendo usado, permitiéndonos realizar mejores horarios de funcionamiento. Una última alternativa sería la de mantener al motor apagado y una vez que el sensor detecta que una persona lo va a utilizar informar al motor para que pueda funcionar, de esta forma se puede programar para que a medida que la persona va ascendiendo el motor vuelva a detenerse, parando por completo su operación cuando la persona deja las escaleras. Esta alternativa debería de igual forma estudiada por separada ya que a pesar de sonar muy conveniente, habría que considerar que para que funcione de manera adecuada el motor debería prenderse muy rápido o encontrarse en un estado donde le resulte fácil reiniciar su actividad, sin dejar de lado que este arranque por lo general supone un mayor consumo energético, por lo que habría que encontrar si realmente es la opción más eficiente.

Para concluir, un tema importante a aclarar es que ya sea la alternativa escogida esta siempre debe contar con una fuerte de campaña de comunicación, esta debe de ser de preferencia usada cerca al lugar donde se realizó al cambio y debe explicar por qué se lo hizo y los resultados que se han obtenido. Este tipo de alternativas y soluciones afectan directamente al usuario, y es por ello que hay que buscar la forma de llegar a ellos y mostrarle que esta

comodidad que están perdiendo se recupera en una reducción del consumo energético, y por consiguiente una producción de gases de efecto invernadero, todo esto con su respectivo ahorro económico, y como este ahorro está siendo utilizado en otras áreas para continuar convirtiendo a la universidad en un espacio amigable con el medio ambiente.

3.4. Plan de Aire Acondicionado

Los sistemas de Aire Acondicionado son usados por el ser humano para manipular la temperatura dentro de espacios cerrados, de forma tal, que se evita un calentamiento o un enfriamiento. Los sistemas de aire acondicionado o de refrigeración tienen muchas aplicaciones útiles como es la conserva de alimentos, bacterias, tejido humano, entre otras, sin embargo, una de sus aplicaciones más comerciales es la de enfriar o calentar una vivienda o una oficina, y por lo tanto es un servicio que ofrece comodidad a aquellos que lo usan. No obstante, esta comodidad tiene un precio, y en este caso el precio es la salud de las personas; en un estudio realizado en dos edificios con diferentes sistemas de ventilación se encontró que el 28% de personas que se encontraban en el edificio con aire acondicionado experimentaron una complicación respiratoria, comparado con un 5% de personas en un edificio con ventilación natural (Robertson et al, 1985). La salud no es el único precio de usar aire acondicionado, ya que hacerlo también afecta al ambiente y a la economía de las personas. Estos sistemas han sido vinculados con el calentamiento global y con la contaminación ocasionada por los gases producidos por los refrigerantes que usan (Pierre, 2018), y sería erróneo pensar que usarlo no está contribuyendo al aumento de tu planilla de luz. Enumerar los distintos problemas que conllevan los aires acondicionados resulta sencillo, pero el objetivo de este trabajo y de la norma es proponer soluciones a estos problemas. Una de las soluciones más prácticas y preventivas es la del diseño inteligente de casas y edificios, tomando en consideración como aprovechar el

entorno para no depender de equipos de aire acondicionado, es decir, fomentar la ventilación natural. Este tipo de diseños ya se realizan hoy en día, pero no fueron tan populares en el pasado, por lo que nos deja la alternativa de mejorar aquello que ya tenemos. Existen dos propuestas fundamentales que serán analizadas como alternativas al aire acondicionado, que busquen ya bien reducir su uso o volverlo totalmente innecesario, estas son: el aislamiento o el recubrimiento de terrazas.

Usar aislamiento es una práctica común en los Estados Unidos, incluso se encuentra fuertemente respaldada por el departamento de energía de este país, los cuales asesoran a las personas y las incentivan a realizar este tipo de instalaciones (Energy.gov). Ecuador es un país que no ha tenido una gran demanda de aires acondicionados, y a diferencia de Estados Unidos no es un país que cuente con inviernos o veranos extremos, que obliguen a la necesidad de adquirir estos equipos. Sin embargo, los aumentos graduales de temperatura y el deseo de comodidad de la gente puede que aumente la demanda de aires acondicionados caseros. Pero, si existiera una forma de evitar el gasto tanto de comprar, como del consumo de electricidad, la gente consideraría si realmente la adquisición vale la pena. El aislamiento es una plancha que puede estar fabricada de distintos materiales, siendo el más común de fibra de vidrio, esta plancha es instalada en techos de las viviendas y su función es la de reducir la transferencia de calor, generada por la radiación del sol y por la temperatura de los alrededores, hacia la casa. De esta forma se previene la entrada de calor en días muy soleados, y la salida de calor en días fríos, por lo que tiene más de una función.

En cuanto a la otra alternativa, recubrir las terrazas tiene un efecto similar al aislamiento ya que reduce la transferencia de calor, pero su enfoque va más hacia cuanto calor se absorbe y cuanto calor se emite. Cada material cuenta con una propiedad de absorción y de emisividad, y

ya que la terraza es usualmente el primer contacto entre la radiación solar, será uno de los factores más relevantes para determinar cómo se distribuirá la temperatura a lo largo del edificio.

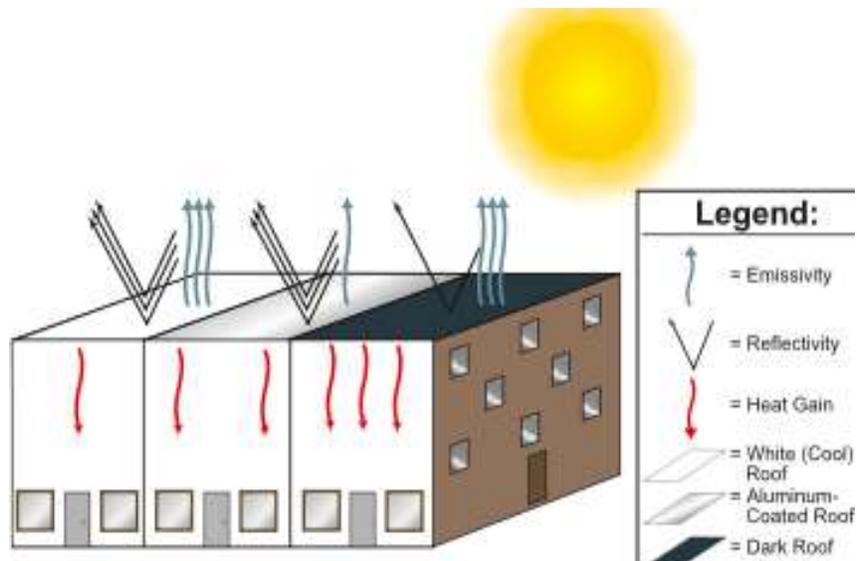


Figura 19. Teoría de Techos Fríos (Manville, 2016)

Como podemos ver en esta imagen el techo negro es el que tiene una mayor absorción y una menor reflectividad, esto tiene sentido ya que los cuerpos negros son considerados la referencia cuando se habla de un cuerpo capaz de absorber toda la radiación que recibe, y aun que es un caso hipotético es importante conocer que es el punto de partida para entender el fenómeno de la transferencia de calor por radiación (Engineeringtoolbox.com). Por otro lado, el color blanco trabajando como el opuesto al negro, es capaz de reflejar una mayor parte de la radiación que reciba y por lo tanto es el tipo de recubrimiento óptimo para reducir la temperatura en cualquier espacio cerrado. Tan solo con pintar la terraza de blanco ya se provee con un recubrimiento, y este será el escenario que analizaremos a continuación para determinar cuál es la mejor alternativa posible.

3.4.1 Cooling Loads

Un método efectivo para conocer como nuestras propuestas interactúan con el espacio es el método de cooling loads, este se define como la cantidad de calor energético que debe salir de

un espacio para que este se mantenga en un rango aceptable (BASIX). Este método resulta particularmente útil ya que los aires acondicionados funcionan introduciendo aire frío para mantener la temperatura del cuarto sacando la energía para hacerlo. Esta energía que sale se puede entender como el costo energético de mantener el cuarto frío al tomar en cuenta su tiempo de uso. A su vez este método nos permite considerar las distintas variables que interactúan con el espacio que se busca enfriar, estas pueden ser: materiales de construcción, calor que se genera dentro del cuarto, radiación solar, cambio del volumen debido a la entrada o salida de personas al cuarto, entre otras. Para nuestro caso de estudio escogimos una oficina que se encuentra en el último piso del Hayek y cuenta con aire acondicionado. Previo a aplicar el método de cooling loads conoceremos cual es el consumo básico que realiza el aire acondicionado a partir de la potencia encontrada en el manual del aire acondicionado que se encuentra en la oficina. Ya que conocemos que la marca es Carrier y su modelo es Xpower Safirus podemos encontrar en el manual los valores de potencia (Carrier) que varían según el tipo de unidad específico, evaluaremos los valores para el tipo de unidad de menor potencia y de mayor potencia para conocer en que rango de precios de consumo eléctrico nos encontramos.

$$Q = P_{AC} * Ti \quad \text{Ec. 6}$$

$$G = E * V * D \quad \text{Ec. 7}$$

Donde,

Q es el consumo eléctrico diario

P_{AC} es la potencia del Aire Acondicionado

Ti es el tiempo de uso del A.C. diario

G es el Gasto Total mensual

V es el valor del kWh

D son los días del mes en los que se utiliza el A.C

Debido a que dos personas utilizan este espacio se puede asumir que el aire acondicionado se encuentra prendido 8 horas al día, y es común utilizar 20 días como el número de días laborables en el mes, por lo que obtenemos:

$$Q_{min} = 620W \times 8h/dia = 4960Wh = 4.96kWh/dia$$

$$G_{min} = 4.96kWh/dia \times \frac{\$0.10kW}{h} \times \frac{20dias}{mes} = \$9.92/mes$$

$$Q_{max} = 2080W \times 8h/dia = 16\ 640Wh = 16.64kWh/dia$$

$$G_{max} = 16.64kWh/dia \times \frac{\$0.10kW}{h} \times \frac{20dias}{mes} = \$33.28/mes$$

De esta forma encontramos que el rango básico de gasto por usar el aire acondicionado es de \$9.92-\$33.28 mensuales según la potencia del sistema de aire acondicionado utilizado. Este cálculo resulta muy básico ya que no toma en cuenta como otros factores pueden interactuar para dificultar el enfriamiento del cuarto y por lo tanto aumentan el costo energético. La primera parte de nuestro método de Cooling Load será plantear los diferentes componentes de la oficina, así como que materiales son utilizados para cada componente.

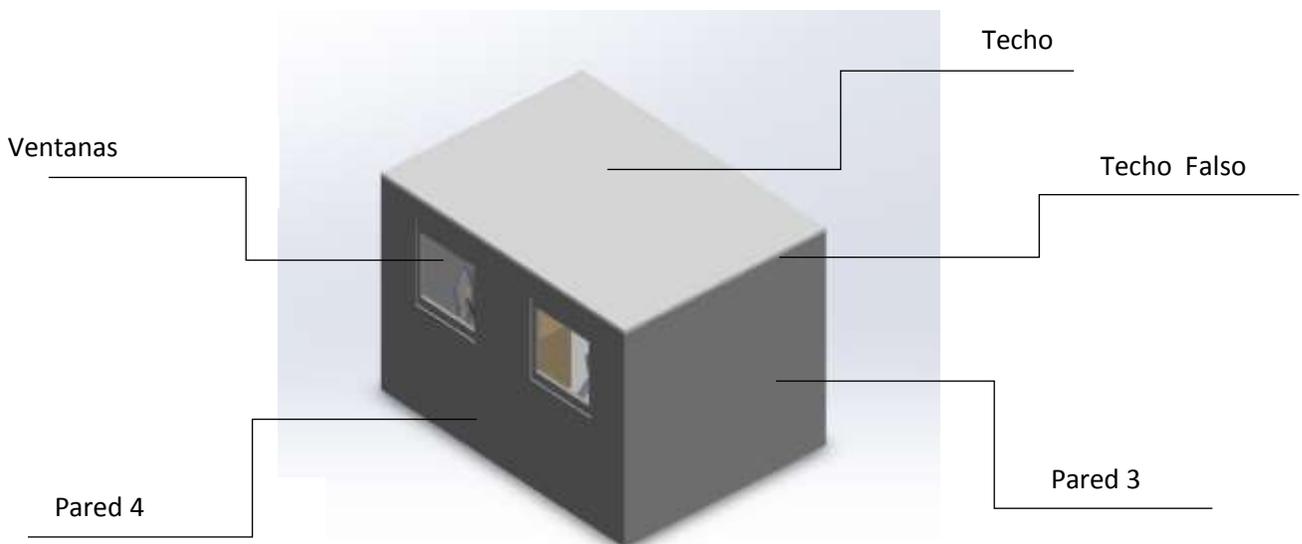


Figura 20. Partes de la Oficina Vista Frontal

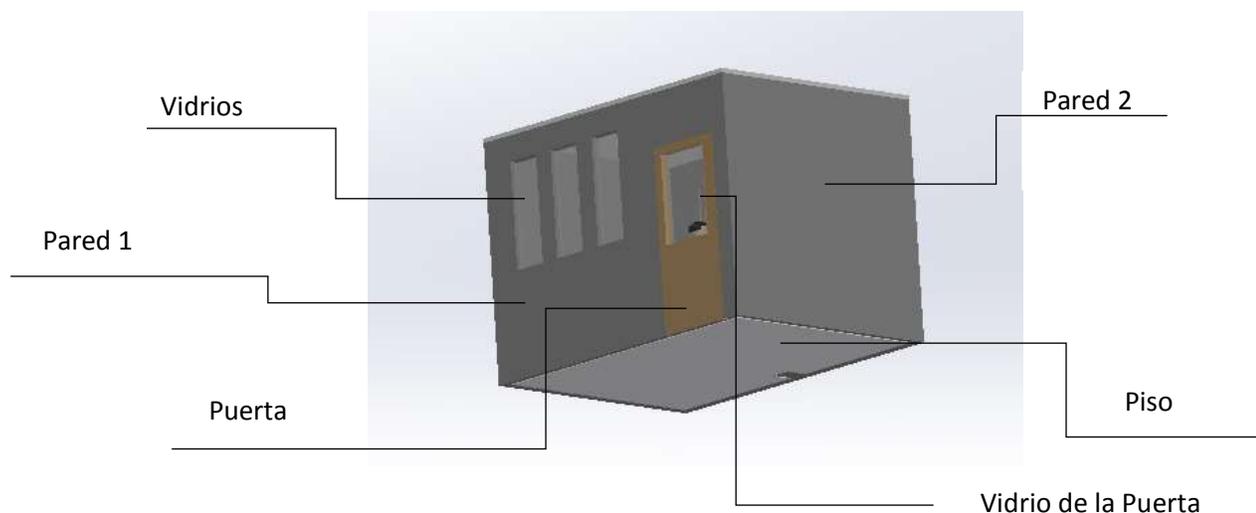


Figura 21. Partes de la Oficina Vista Posterior

Tabla 4 Dimensiones por cada Parte con su Material Respectivo

| Material | Partes | Base | Altura | Area |
|------------------|---------------------|-------|--------|-------|
| Concreto | Pared 1 | 3.532 | 2.660 | 6.754 |
| | Pared 2 | 2.533 | 2.660 | 6.738 |
| | Pared 3 | 3.532 | 2.660 | 7.342 |
| | Pared 4 | 2.533 | 2.660 | 6.738 |
| | Techo | 2.533 | 3.532 | 8.947 |
| Vidrio | Ventana | 0.940 | 1.092 | 1.026 |
| | Vidrios | 0.398 | 1.190 | 0.474 |
| | Vidrio de la Puerta | 0.640 | 1.000 | 0.640 |
| Madera | Puerta | 0.905 | 2.055 | 1.220 |
| Bordes de Madera | Piso | 2.533 | 3.532 | 8.947 |
| Gypsum | Techo Falso | 2.533 | 3.532 | 8.947 |
| Fibra de Vidrio | Aislamiento | 2.533 | 3.532 | 8.947 |

Una vez que conocemos todas las partes que interactúan podemos empezar a aplicar la primera parte del método que toma en cuenta las cargas por transmisión y las pérdidas de calor por este. Este toma en cuenta los materiales que se encuentran expuestos al exterior, es decir las

paredes, el techo, el piso, la puerta, las ventanas y los vidrios, por lo que planteamos las siguientes ecuaciones:

$$Q = \frac{UATi(T_{out}-T_{in})}{1000} \text{ Ec. 8}$$

$$U = \frac{k}{t} \text{ Ec.9}$$

Donde

U es el coeficiente de transferencia de calor general

A es el área superficial

T_{out} es la temperatura afuera del cuarto

T_{in} es la temperatura adentro del cuarto

k es la conductividad térmica del material

t es el espesor del material

Como se puede ver para resolver esta ecuación es necesario establecer las propiedades de los materiales, así como la temperatura que se espera mantener dentro del cuarto y la temperatura fuera del cuarto. La temperatura externa del cuarto puede resultar complicada de calcular ya que se debe tomar en cuenta la temperatura del aire, así como la temperatura que almacenan las paredes, la diferencia entre estas dos para techos de alta absorción puede llegar hasta los 50°C (Akbari & Konopacki, 2006), esto sin tomar en cuenta que cada una de las paredes en la vida real interactúa de manera diferente con sus alrededores, por lo que se decidió usar 27°C o 300K como temperatura en los exteriores. Esta temperatura nos permite obtener de manera más sencilla los valores de ciertas propiedades térmicas ya que es considerada la temperatura estándar de un cuarto. Por otro lado se decidió buscar la reducción de 5°C que se considera un decrecimiento satisfactorio para la comodidad de las personas. A continuación, encontraremos las propiedades de los materiales utilizados con este método.

Tabla 5 Propiedades de Cada Material. (*Incropera, 2011)

| | Propiedades | | |
|-------------------------|------------------------|---------|---------|
| | Conductividad termica* | Espesor | Valor U |
| Concreto | 1.4 | 0.1 | 14.00 |
| Gypsum | 0.17 | 0.05 | 3.40 |
| Fibra de Vidrio | 0.046 | 0.005 | 9.20 |
| Vidrio | 1.4 | 0.01 | 140.00 |
| Madera | 0.17 | 0.05 | 3.40 |
| Bordes de Madera | 0.16 | 0.1 | 1.60 |

A partir de estos datos obtenemos los siguientes resultados:

$$Q_{2,4} = \frac{\left(\frac{14W}{m^2k}\right) (6.738m^2)(8h)(27^\circ C - 22^\circ C)}{1000} = 3.773 kWh$$

$$Q_3 = \frac{\left(\frac{14W}{m^2k}\right) (7.335m^2)(8h)(27^\circ C - 22^\circ C)}{1000} = 4.108 kWh$$

$$Q_1 = \frac{\left(\frac{14W}{m^2k}\right) (6.125m^2)(8h)(27^\circ C - 22^\circ C)}{1000} = 3.43 kWh$$

$$Q_{piso} = \frac{\left(\frac{1.6W}{m^2k}\right) (8.947m^2)(8h)(27^\circ C - 22^\circ C)}{1000} = 0.573kWh$$

$$Q_{puerta} = \frac{\left(\frac{3.4W}{m^2k}\right) (1.22m^2)(8h)(27^\circ C - 22^\circ C)}{1000} = 0.166kWh$$

Ya que nuestro enfoque principal es como afecta el aislamiento y el recubrimiento de color blanco, buscaremos la temperatura de la terraza. Esta temperatura se ve afectada por la radiación solar y por la transferencia por calor por convección del aire. Para obtener la radiación solar se realizó el promedio entre las horas en las que existe este tipo de radiación, a partir de un estudio realizado en el 2012, donde se analizó los datos horarios de radiación solar del distrito

metropolitano del 2007 al 2012 (Cazorla, 2012). Mediante un análisis de equilibrio energético se plantearon las ecuaciones necesarias para obtener la temperatura en la terraza, y se tomó en cuenta los diferentes escenarios que puede haber:

- Status Quo (sin aislamiento, sin recubrimiento)
- Con aislamiento, sin recubrimiento
- Sin aislamiento, con recubrimiento
- Con aislamiento, con recubrimiento

Y se obtuvo lo siguiente:

$$E_{in} - E_{out} = 0 \text{ Ec. 10}$$

$$\alpha G_s - q''_{rad} - q''_{conv} = 0 \text{ Ec. 11}$$

$$\alpha G_s - \varepsilon \sigma (T_T^4 - T_{surr}^4) - h(T_T - T_{surr}) = 0 \text{ Ec. 12}$$

Donde,

E_{in} es la energía que entra al sistema

E_{out} es la energía que sale del sistema

α es la absorción del techo

G_s es el flujo solar

q''_{rad} es la transferencia de calor por radiación

q''_{conv} es la transferencia de calor por convección

ε es la emisividad

σ es la constante de Stefan-Boltzman

h es la constante de transferencia de calor por convección

T_T es la temperatura del techo

T_{surr} es la temperatura de los alrededores

Sin recubrimiento

$$(0.98)\left(\frac{430W}{m^2}\right) - (0.98)\left(5.67E - 8\frac{W}{m^2K^4}\right)(T_T^4 - (300.15K)^4) - \frac{15W}{m^2K}(T_T - 300.15K) = 0$$

$$\frac{421.4W}{m^2} - \left(5.557E - 8\frac{W}{m^2K^4}\right)T_T^4 + \frac{450.986W}{m^2} - \frac{15W}{m^2K}T_T + \frac{4502.25W}{m^2} = 0$$

$$-(5.557E - 8)T_T^4 - 15T_T + 5374.636 = 0$$

$$T_T = 319.64K = 46.49^\circ C$$

Recubrimiento blanco

$$(0.26)\left(\frac{430W}{m^2}\right) - (0.90)\left(5.67E - 8\frac{W}{m^2K^4}\right)(T_T^4 - (300.15K)^4) - \frac{15W}{m^2K}(T_T - 300.15K) = 0$$

$$\frac{111.8W}{m^2} - \left(5.103E - 8\frac{W}{m^2K^4}\right)T_T^4 + \frac{414.17W}{m^2} - \frac{15W}{m^2K}T_T + \frac{4502.25W}{m^2} = 0$$

$$-(5.103E - 8)T_T^4 - 15T_T + 5028.22 = 0$$

$$T_T = 305.55K = 32.4^\circ C$$

Una vez que se conoce las temperaturas en la terraza, tanto para el caso con recubrimiento como para el normal, se pasa a conocer el calor que ingresa en la oficina aquí es útil realizar un análisis de resistencia térmica para considerar el efecto del aislamiento. Por lo que obtenemos:

$$U = \frac{1}{R_{th}} \text{ Ec. 13}$$

$$R_{th(s.a.)} = \frac{t_C}{k_C} + \frac{t_G}{k_G} \text{ Ec. 14}$$

$$R_{th(c.a.)} = \frac{t_C}{k_C} + \frac{t_G}{k_G} + \frac{t_F}{k_F} \text{ Ec. 15}$$

Donde,

$R_{th(s.a.)}$ es la Resistencia termica sin aislamiento

$R_{th(c.a)}$ es la Resistencia termica con aislamiento

$$R_{th(s.a.)} = \frac{0.15m}{\frac{1.4W}{mK}} + \frac{0.05m}{\frac{0.17W}{mK}} = \frac{0.401m^2K}{W}$$

$$U = \frac{1}{\frac{0.401m^2K}{W}} = \frac{2.492W}{m^2K}$$

$$Q_{techo negro(s.a.)} = \frac{\left(\frac{2.492W}{m^2k}\right) (8.947m^2)(8h)(46.49^\circ C - 22^\circ C)}{1000} = 4.369kWh$$

$$Q_{techo blanco(s.a.)} = \frac{\left(\frac{2.492W}{m^2k}\right) (8.947m^2)(8h)(32.4^\circ C - 22^\circ C)}{1000} = 1.855kWh$$

$$R_{th(c.a.)} = \frac{0.15m}{\frac{1.4W}{mK}} + \frac{0.05m}{\frac{0.17W}{mK}} + \frac{0.005m}{\frac{0.046W}{mK}} = \frac{0.510m^2K}{W}$$

$$U = \frac{1}{\frac{0.510m^2K}{W}} = \frac{1.961W}{m^2K}$$

$$Q_{techo negro(c.a.)} = \frac{\left(\frac{1.961W}{m^2k}\right) (8.947m^2)(8h)(46.49^\circ C - 22^\circ C)}{1000} = 3.437kWh$$

$$Q_{techo blanco(c.a.)} = \frac{\left(\frac{1.961W}{m^2k}\right) (8.947m^2)(8h)(32.4^\circ C - 22^\circ C)}{1000} = 1.460kWh$$

Para concluir la parte de transferencia de calor por transmisión calculamos para todos los componentes que están contruidos con vidrio:

$$Q_{ventanas} = 2 * \frac{\left(\frac{140W}{m^2k}\right) (1.026m^2)(8h)(27^\circ C - 22^\circ C)}{1000} = 11.49kWh$$

$$Q_{vidrios} = 3 * \frac{\left(\frac{140W}{m^2k}\right) (0.47m^2)(8h)(27^\circ C - 22^\circ C)}{1000} = 7.896kWh$$

$$Q_{vidrio Puerta} = \frac{\left(\frac{140W}{m^2k}\right) (0.64m^2)(8h)(27^\circ C - 22^\circ C)}{1000} = 3.584kWh$$

La siguiente parte en nuestro análisis se refiere al calor generado internamente, este toma en cuenta el calor generado por las personas, que equivale a 270W (TheEngineeringMindset, 2017), la cantidad de personas y el tiempo que están dentro del cuarto.

$$Q_{personas} = Personas * Ti * \frac{H_p}{1000} \text{ Ec. 16}$$

Donde,

H_p es el calor emitido por persona

$$Q_{personas} = 2 * 8h * \frac{270W}{1000} = 4.32kWh$$

La segunda parte del análisis para el calor generado internamente toma en cuenta las luces dentro de la oficina, y otros equipos que generan calor como las computadoras. Para ambos es necesario conocer su potencia eléctrica, para las luces tipo LED es de 14W (EcoluzLed.com), y para las computadoras es de 100W (Papiweski).

$$Q_{ilu} = Luces * Ti * \frac{P_{oL}}{1000} \text{ Ec. 17}$$

Donde,

P_o es la potencia electrica

$$Q_{ilu} = 2 * 8h * \frac{14W}{1000} = 0.224kWh$$

$$Q_{comp} = Computadoras * Ti * \frac{P_{oC}}{1000} \text{ Ec. 18}$$

$$Q_{comp} = 2 * 8h * \frac{100W}{1000} = 1.6kWh$$

Para terminar nuestro análisis de cooling loads es necesario conocer la infiltración del aire, es decir el calor que se gana por los intercambios de aire cuando se abre la puerta. Aquí

asumimos que alrededor de 20 intercambios se generan a lo largo del día, y que la energía por metro cubico de aire es aproximada a $2kJ/m^3\text{°C}$ (TheEngineeringMindset).

$$Q_{infiltr} = \frac{\text{Cambios} * V * E_{air} * (T_{out} - T_{in})}{3600} \text{ Ec. 19}$$

$$Q_{infiltr} = \frac{20 * 23.79m^3 * \frac{2kJ}{m^3\text{°C}} (27\text{°C} - 22\text{°C})}{3600} = 1.322kWh$$

Finalmente, sumamos todos los calores que hemos encontrado para cada parte y lo multiplicamos por un factor de seguridad de 1.2.

$$Q_{Total} = 1.2 \sum Q \text{ Ec. 20}$$

$$Q_{Total} = 1.2(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_{techos} + Q_{piso} + Q_{puerta} + Q_{comp} + Q_{personas} + Q_{ilu} + Q_{infiltr} + Q_{ventanas} + Q_{vidrios} + Q_{vidrio Puerta})$$

$$Q_{Total (Techo negro)(s.a.)} = 1.2(50.628kWh) = 60.754kWh$$

$$Q_{Total (Techo negro)(c.a.)} = 1.2(49.696kWh) = 59.635kWh$$

$$Q_{Total (Techo blanco)(s.a.)} = 1.2(48.114kWh) = 57.734kWh$$

$$Q_{Total (Techo blanco)(c.a.)} = 1.2(47.719kWh) = 57.263kWh$$

Una vez que obtuvimos el calor total para cada uno de nuestros cuatro casos podemos obtener cuando nos costaría retirar este calor del sistema en un mes.

$$G_{Total (Techo negro)(s.a.)} = 60.754kWh * \frac{\$0.10kW}{h} * \frac{20días}{mes} = \$121.51/mes$$

$$G_{Total (Techo negro)(c.a.)} = 59.635kWh * \frac{\$0.10kW}{h} * \frac{20días}{mes} = \$119.27/mes$$

$$G_{Total (Techo blanco)(s.a.)} = 57.734kWh * \frac{\$0.10kW}{h} * \frac{20días}{mes} = \$115.47/mes$$

$$G_{Total (Techo\ blanco)(c.a.)} = 57.263kWh * \frac{\$0.10kW}{h} * \frac{20días}{mes} = \$114.53/mes$$

Como se puede apreciar mantener el status quo es la alternativa más costosa, y la combinación de aislamiento y recubrimiento nos supone un ahorro de ·\$7 mensuales. Un punto importante a tomar en cuenta es que para este método se asume que se continúa utilizando el aire acondicionado, por lo que el único efecto del aislamiento y del recubrimiento es ayudar al sistema de refrigeración mas no reemplazarlo por completo. Ya que nuestro objetivo ideal sería demostrar que el aislamiento puede sustituir en su totalidad el uso del aire acondicionado realizaremos una simulación para comprender como se comporta el cuarto solo con estos componentes.

3.4.2 Simulación en SolidWorks

Ya que el objetivo de nuestra simulación será el de determinar si la temperatura del cuarto decrece de manera considerable sin el uso de aire acondicionado, usaremos la misma oficina y las mismas condiciones que planteamos anteriormente. Para realizar esta simulación se utilizó el programa SolidWorks que cuenta con un paquete de Simulación de Flujo, esto nos permite introducir distintas variables que son computadas y posteriormente graficadas, según lo que busca el usuario. Para este escenario se consideró que la radiación solar generaba un calor de 7700W, este valor corresponde a las 12:00 donde el valor de radiación es más alto (Cazorla, 2012). A su vez se consideró la temperatura de 23°C en el exterior ya que esta es la temperatura más alta en verano de acuerdo con la NOAA (2018). La razón por la cual para la simulación se escogieron estos valores fue que se consideraría este como el caso más crítico, es decir donde más calor existe en el año. A su vez el programa realiza el cómputo de estos valores para cambiar, si se es necesario las propiedades de los materiales de forma que se acomodan al modelo real. Finalmente, es importante tomar en cuenta que para la oficina no se consideró la

puerta ni las ventanas, ya que estos componentes causaban varias fugas de aire lo que generaba un error en el programa.

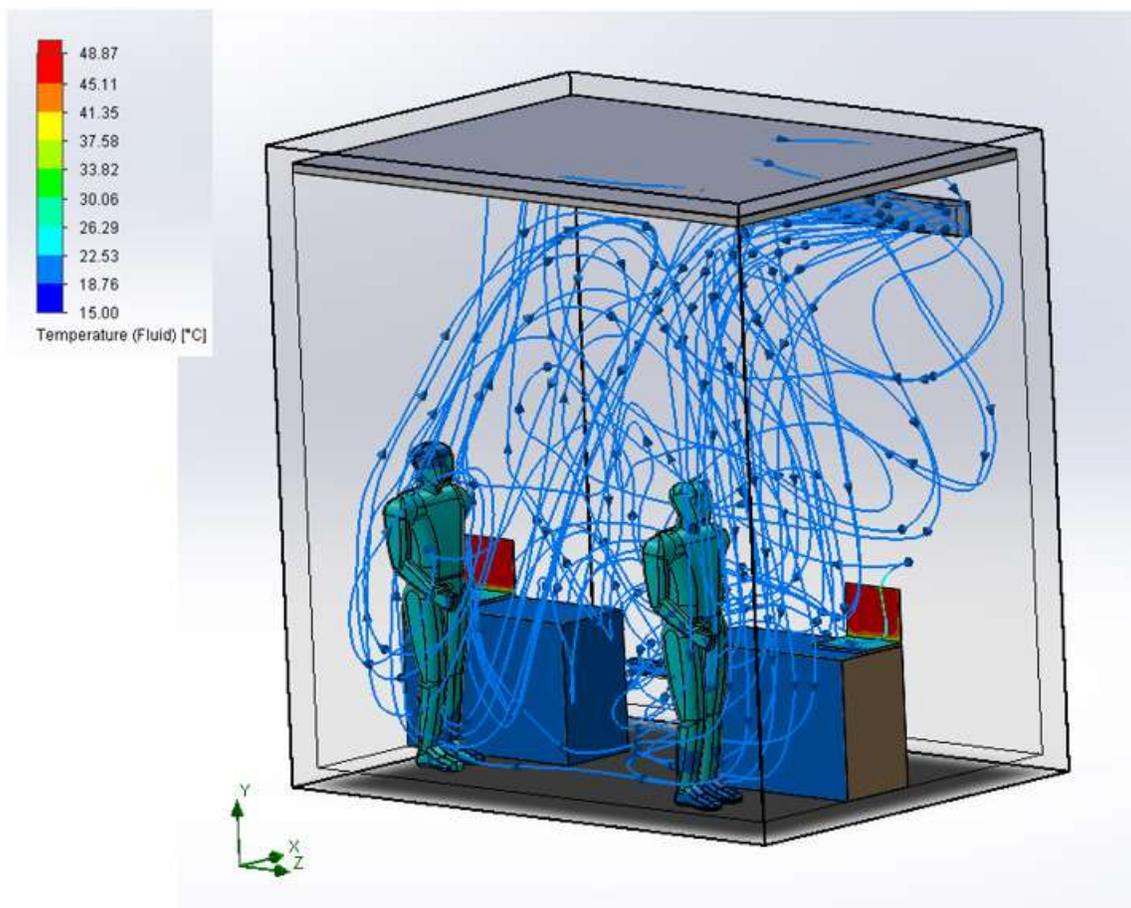


Figura 22. Efecto del Acondicionado en la Oficina

En esta imagen se puede observar como el aire se distribuye alrededor de la oficina al ser expulsado por el Sistema de aire acondicionado, para esta simulación se programó el aire con un flujo de $4.8\text{m}^3/\text{min}$ obtenido del manual del aire acondicionado, y con una temperatura de 20°C . Lo que se puede ver en esta imagen es como el aire frío expulsado por el aire acondicionado se mantiene en una temperatura constante durante todo su trayecto, y finalmente sale del cuarto por una pequeña apertura que se consideró para el espacio entre la puerta y el piso.

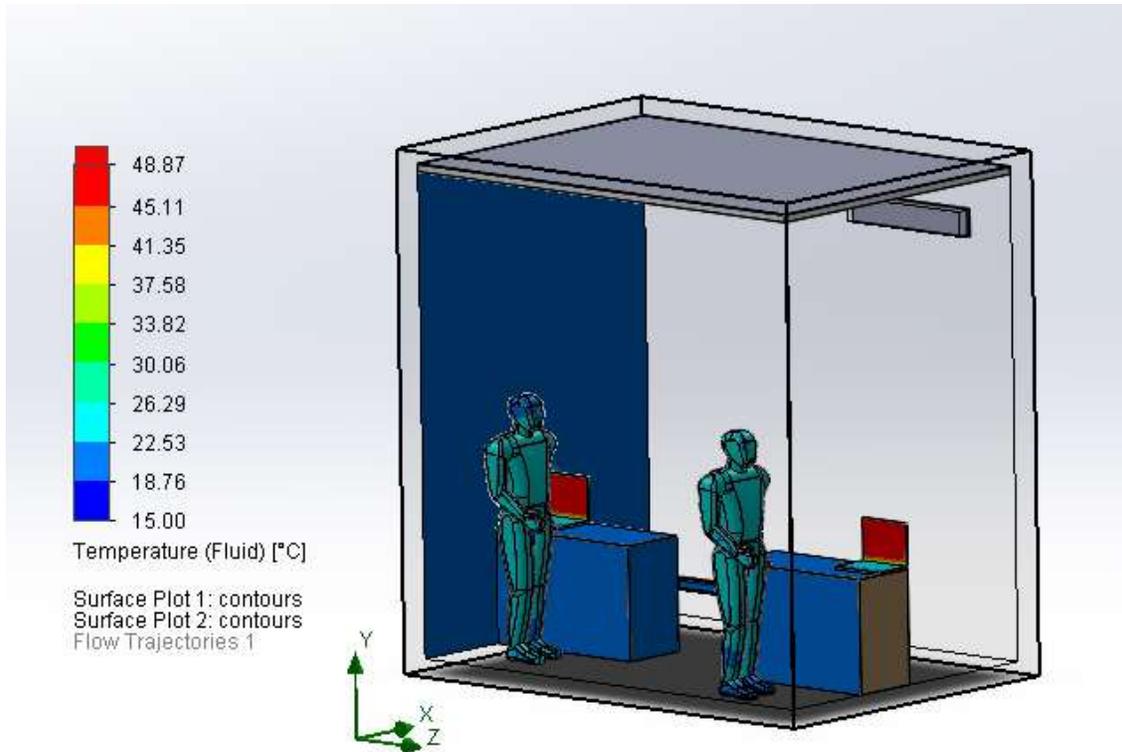


Figura 23. Distribución de Temperatura dentro del cuarto

Esta figura corresponde a la interacción únicamente entre la radiación, el aislamiento y el recubrimiento, es decir se retiró el aire acondicionado. Esta simulación era nuestro principal objetivo ya que serviría de justificación para retirar por completo el aire acondicionado de la oficina. En esta imagen se puede ver que la distribución de calor a lo largo de la pared es constante, y se encuentra entre 18.76°C y 15°C . Al encontrarse la temperatura de la pared dentro de este rango se comprobaría nuestro objetivo principal cuando realizamos el método de cooling load de reducir 5 grados la temperatura del cuarto con la del exterior, comprobando nuestra hipótesis inicial. Cabe recalcar que esta imagen es una aproximación de lo que supondría un modelo real, ya que no se tomó en cuenta algunos componentes que se encontraban en las paredes. A su vez, este tipo de simulación no considera lo que ocurre cuando alguien entra o sale de la oficina, o el tiempo que permanecen dentro. También, resulta importante considerar que las

propiedades de los materiales no siempre son iguales y pueden variar según la forma en la que fueron fabricados o las distintas composiciones que puedan tener. Todo esto nos lleva a concluir que esta simulación resulta efectiva para demostrar que la temperatura dentro de la oficina si se reduce con la instalación de aislamiento y un recubrimiento, sin embargo, para apreciar aun con mayor claridad este fenómeno se debería realizar un modelo más cercano a la realidad, que tome en cuenta distintas interacciones que tiene la oficina con el exterior.

3.4.3 Soluciones al Aire Acondicionado

Una vez que hemos establecido la efectividad de instalar aislamiento o de recubrir la terraza de blanco podemos considerar que ahorro nos significaría y establecerlas formalmente como soluciones. Para esto consideraremos el valor de instalación de nuestras soluciones y consideraremos en cuanto tiempo se podría pagar la inversión realizada. Empezaremos por utilizar los resultados obtenidos con el método de Cooling Load donde se consideraba que el aire acondicionado continuaba siendo usado. El precio de una plancha de fibra de vidrio de 5mm de espesor es de \$110 el metro cuadrado, y el precio de un galón de pintura blanca es de \$40, ambos valores fueron obtenidos de proveedores locales respectivos a cada uno.

Tabla 6 Ahorro y Tiempo de Pago de cada Propuesta

| Propuesta | Precio | Ahorro Mensual | Tiempo de pago(meses) |
|----------------------|---------------|-----------------------|------------------------------|
| Instalar Aislamiento | \$1,000 | \$ 2.24 | 446 |
| Pintar la Terraza | \$40 | \$ 6.04 | 7 |
| Combinación | \$1,040 | \$ 6.98 | 149 |

Aquí se puede ver que la mejor alternativa cuando se continua usando el aire acondicionado es la de pintar la terraza ya que esta es la que más ahorro significa y por no tener un precio tan elevado se recupera rápidamente. Por otro lado la opción de instalar aislamiento

tiene un tiempo irreal de pago y no es una alternativa considerada, mientras que la combinación si ayuda a disminuir este tiempo de pago, pero de todas formas continua siendo muy elevado como para ser atractivo. Sin embargo, a partir de nuestra simulación demostramos que la combinación de aislamiento y recubrimiento son efectivas para reducir el uso del aire acondicionado o incluso desinstalarlo por completo, por lo que analizaremos que ocurre en estos escenarios.

Tabla 7 Ahorro y Tiempo de Pago según el uso del Aire Acondicionado

| Uso de A. A. | Propuesta | Precio | Ahorro Mensual | Tiempo de pago(meses) |
|---------------------|------------------|---------------|-----------------------|------------------------------|
| 50% | Combinación | \$1,040 | \$ 60.76 | 17 |
| 0% | Combinación | \$1,040 | \$ 121.51 | 9 |

Ya que en la simulación se realizó el mejor escenario a partir de la combinación de aislamiento y recubrimiento, se tomó únicamente esta propuesta para considerar el ahorro que supondría, ya que se demostró que es la más efectiva. Como podemos ver si se reduce el uso del aire acondicionado a la mitad con un ahorro de \$60.76, que pagaría la instalación en 17 meses y si se lo desinstala por completo se pagaría en 9 meses. El escenario más real sería el de utilizar el aire acondicionado a un 50% ya que existirán ocasiones en las que personas deseen bajar la temperatura aún más, y la combinación solo servirá de asistencia para el aire acondicionado. Resultaría interesante realizar la instalación en la oficina y medir de qué forma cambia la temperatura, de esta forma se verificaría en que porcentaje se reduce el uso de aire acondicionado. Finalmente, es importante decir que la instalación de ambas ha demostrado mejorar el desempeño energético del sistema de aire acondicionado, y que si tiene una gran posibilidad de sustituirlo por completo, generando un ahorro considerable que se pagaría a sí misma en poco tiempo.

3.5 Propuesta de Monitoreo Continuo

El principal enfoque de este trabajo se ha centrado en el edificio Hayek al ser una extensión de la Universidad y como este afecta el consumo energético de la misma, sin embargo, no se puede dejar de lado que la universidad como tal gasta alrededor de 220MWh en un mes y tiene la mayor concentración de estudiantes. Si a esto se le acompaña el hecho de que a diferencia del Hayek, que fue diseñado como centro comercial y por lo tanto contaba con una infraestructura eléctrica de alta calidad, mientras la universidad como tal carece de planos eléctricos, los cuales serían un excelente punto de partida para identificar fallas y poder mejorarlas. Tomando en cuenta el alto consumo de la Universidad y lo complejo que puede resultar el reestructurar el cableado eléctrico, se propone una solución que permita controlar y monitorear de manera continua el consumo energético de la universidad. Este dispositivo de monitoreo continuo se instalara directamente en los tableros y mediante una conexión vía Ethernet podría subir los datos de consumo a tiempo real a una base de datos. Cabe recalcar que dispositivos de esta clase ya existen en el mercado, incluyendo el programa que registra los datos, no obstante, con el objetivo de ahorrar gastos y siguiendo uno de los lineamientos de la política este dispositivo puede ser parte de un proyecto de clases ya que existe la facilidad de construirlo uno mismo, ahorrando dinero en el proceso. Resulta conveniente de esta forma utilizar la siguiente guía: <http://www.the-diy-life.com/simple-3-phase-arduino-energy-meter/>, donde se explica los pasos básicos de cómo construir un medidor de energía para un sistema trifásico utilizando un Arduino como microcontrolador (Klements, 2017). Esta guía a su vez provee de los materiales necesarios y el código que se debe implementar, por lo que es una herramienta completa para construir el medidor. Junto a los materiales necesarios se encuentra

un link que te direcciona directamente a Amazon.com donde puedes comprar todo lo que se necesita comprar, y que se resumirá a continuación:

Tabla 8. Precios según Amazon.com de los Ítems necesarios para el Medidor Energético (Klements, 2017)

| Ítem | Cantidad | Costo Total |
|--|-----------------|--------------------|
| Arduino Uno | 1 | \$18.16 |
| Pantalla LCD | 1 | \$12.50 |
| Sensores de Corriente | 3 | \$17.55 |
| Resistores de 56 Ohms | 3 | \$5.80 |
| Capacitores 10μF | 3 | \$5.66 |
| Resistores de 100 Ohms | 6 | \$5.80 |
| Ethernet Shield | 1 | \$15.99 |
| Total | | \$67.98 |

Esto nos indicaría que construir el medidor energético costaría \$67.98, siempre y cuando se realice la compra por medio de la página recomendada, este precio puede aumentar o disminuir dependiendo si se decide importar las partes, o comprarlas directamente con proveedores locales, la razón por la cual se recomienda realizar la compra por medio de Amazon es debido a que es lo aconsejado por el autor de la guía, y a su vez se tiene la seguridad de que se comprar los componentes necesarios. De todas formas, es responsabilidad de quien decida construir el medidor de asegurarse que las propiedades de los componentes sean las mismas para evitar fallas.

Ya que la guía provee básicamente de todo lo necesario para construir el medidor energético el trabajo del estudiante o la persona que lo realice recae en verificar que el medidor funcione de manera correcta y construir la base de datos donde se almacenara y se mostrara los datos recaudados. Para verificar el funcionamiento se debería de utilizar un equipo verificado que funcione de la misma forma que el medidor pero que sepamos con certeza que funciona de

manera correcta, por lo que una comparación entre ambos nos indicaría que tan certero es el equipo construido o que margen de error puede tener. Un factor importante a tomar en cuenta, y que puede ser un reto para quien decida construir el medidor es que en la programación utilizada se asume que el voltaje es constante; como vimos anteriormente esto no es completamente verdad ya como se puede ver en la Figura 16 el voltaje oscila constantemente. El desafío en este caso es determinar qué tanta influencia tiene esta oscilación del voltaje sobre el medidor, y de representar una variación considerable incorporar un medidor de voltaje, de forma que en la programación se registre también el cambio. Por otro lado, la base de datos es una de las partes esenciales de este proyecto ya que es la comunicación principal entre el equipo y las personas, esto también permitiría a la persona encargada del proyecto de familiarizarse con este tipo de herramientas de almacenamientos, tales como Microsoft Access. De esta forma, la plataforma creada a partir de la base de datos será la que permita monitorear como cambia el consumo energético durante el día, esta es una herramienta clave para el desarrollo de nuevas propuestas de reducción de consumo energético.

Finalmente, una de las mayores motivaciones para implementar este medidor es que significaría el primer paso de la universidad a tener una estructura de Smart Grid, es decir, una red en la cual se puede medir las distintas operaciones tanto de uso, distribución y consumo de la energía (SmartGrid.gov). Una estructura de este estilo supondría para la Universidad un gran avance tecnológico e informativo, reduciendo sus costos y volviendo sus procesos eficientes, en esencia un Smart Grid supondría aplicar la norma ISO 50001 a su mayor potencial, facilitando la identificación de mejoras y verificando continuamente cualquier implementación que se realice. Sin lugar a dudar este tipo de estructuras serán parte de nuestro futuro y un pequeño paso como implementar estos medidores nos acercaran un poco hacia él.

4. Conclusiones

Se ha logrado implementar las partes de planificación y operación dentro de la norma ISO 50001 dentro del campus universitario, a una escala pequeña sin embargo significativa que ha permitido dar la importancia y visualización que este tipo de guías tienen. A partir de esto se estableció una serie de políticas internas que junto al compromiso de la alta gerencia serán pieza clave para que la universidad continúe un camino en búsqueda de mejorar sus actividades de consumo eléctrico. Estas políticas se unirán a la política ambiental de la Universidad San Francisco y una vez que sean aprobadas por la alta gerencia, serán el punto de partida el futuro de la Universidad en temas medioambientales.

Se ha sentado la base sobre la cual se abre la oportunidad de aplicar la norma a toda la universidad, incluyendo el campus Hayek así como nuevas adquisiciones del Universidad. De esta manera se espera que este programa pueda ser continuado, mejorado y ampliado para que cubra un mayor rango no solo en el campo de eficiencia y ahorro energético, pero incluso extendiéndose a la creación de conciencia energética en los estudiantes y promoviendo el cuidado por el medio ambiente que es en realidad el aspecto general que encierra todo este trabajo.

Se encontró una serie de áreas de consumo energético significativo las cuales podrían ser estudiadas por si solas y donde se puede encontrar nuevas soluciones y alternativas a la forma en la que se opera actualmente. Se planteó una línea de base energética sobre la cual se realizó distintos estudios con el fin de determinar propuestas para reducir el consumo energético, que a su vez directamente decrece la producción de gases de efecto invernadero.

Se puso en práctica los conocimientos de Ingeniería Mecánica aplicando conceptos básicos física, movimiento y energía para los ascensores, mientras que se aplicó conceptos de

termodinámica y transferencia de calor relacionados a la interacción al aire acondicionado. Para respaldar las propuestas planteadas se llevó a cabo un proceso de recopilación de datos por una semana del tablero de ascensores y escaleras eléctricas, mientras que como justificación de las propuestas de aire acondicionado se realizó una simulación en SolidWorks.

Para los ascensores y las escaleras eléctricas se encontró que existe un potencial ahorro al reducir el consumo energético actual que estos generan, esto puede suceder de 3 formas. La primera es la de instalar un contacto para que apague por completo el tablero y no se siga consumiendo energía desde la 1:00am hasta las 5:00am, esto supondría un ahorro de \$22 mensuales. La segunda es la de apagar un ascensor de cada par y esta supondría un ahorro de \$94.09 mensuales. La última propuesta fue la de desconectar las escaleras eléctricas y esta supondría un ahorro de \$205.35 mensuales. Todas estas propuestas deberían ser comprobadas previo a una instalación para determinar si se está obteniendo este ahorro.

Para el caso del aire acondicionado se planteó el uso de aislamiento y recubrimiento para disminuir la transferencia de calor dentro del edificio, evitando usar aire acondicionado, el cual dentro de su proceso libera hidrofluorocarbonos que destruyen la capa de ozono. En este modelo se consideró que la instalación de ambas alternativas supondría el mejor escenario, ya que se demostró que reduciría la temperatura de la oficina. Finalmente, se consideró que esta instalación no reemplazaría por completo al aire acondicionado pero su reduciría su uso en un 50% obteniendo un ahorro de \$61.

Se toma en cuenta que cualquier alternativa planteada debe de poder generar un ahorro, el cual puede ser reinvertido en proyectos con el mismo propósito de reducir el consumo energético, o puede funcionar como apoyo para realizar campañas de comunicación que van de la mano con cualquier implementación realizada. También se espera que a largo plazo el capital

que se genere a partir de estos ahorros sea capaz de permitir la instalación de sistemas de monitoreo continuo en todo el campus, lo cual finalmente lleve a adquirir un sistema de Smart Grid para toda la Universidad.

Como recomendaciones de la experiencias dentro de este trabajo se puede decir que se debe considerar que los equipos necesarios para realizar mediciones sean los correctos o si puedan ser instalados, ya que en mi caso se debió cambiar de equipo debido a que se pensó usar un equipo de la Universidad para conectar en el tablero de ascensores y escaleras eléctricas, sin embargo, este equipo presentaba un riesgo de explosión por lo que se optó por un equipo que si pueda ser conectado. Otra sugerencia para quien desee continuar con este proyecto o quiere realizar proyectos similares es que trate de mejorar el lazo y la conexión con las personas encargadas de aprobar o permitir una implementación, ya que este proceso fue el que impidió que esta investigación avance como estaba propuesta. Un mejor contacto es esencial para que estos proyectos puedan ser realizados a su máximo potencial y sería ideal comenzar con un proceso en el cual se informe a quienes autoricen realizarlo y se gane su compromiso y apoyo, permitiendo que el proyecto se convierta en un interés común para tanto el ejecutor como para los involucrados.

Como trabajo a futuro a este proyecto se espera que se concluya la norma, es decir la parte tanto de verificación y revisión por la dirección, una vez que esto ocurra y el proyecto sea aplicado se debe continuar pensando en mejoras y con la realización de auditorías energéticas que respalden todos los procesos que se van llevando a cabo. A su vez se debe considerar la importancia de la correcta documentación de todos los procesos realizados con el fin de implementar los sistemas de gestión energética, debido a que esto ayuda a una correcta organización sobre los datos ya obtenidos y los sistemas ya implementados. Por lo que se espera

que en un futuro exista una base de datos que cuente con toda la información de los diferentes estudios realizados cuyo objetivo ha sido volver a la Universidad San Francisco de Quito, una universidad consciente del impacto que genera al medio ambiente, pero comprometida con ayudarlo.

Referencias Bibliográficas

1. Agencia de Regulacion y Control de Electricidad (2018) *PLIEGO TARIFARIO PARA LAS EMPRESAS ELÉCTRICAS DE DISTRIBUCIÓN. SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA*. Periodo: Enero – Diciembre 2018. Obtenido el 20 de diciembre de 2018 desde https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/08/2018_06_13_pliego_tarifario_del_spee_2018_final_actualizado0507658001531166562.pdf
2. Akbari, H. y Konopacki, S. (2006). *The impact of reflectivity and emissivity of roofs on building cooling and heating energy use*. Recuperado desde https://www.researchgate.net/publication/237555351_THE_IMPACT_OF_REFLECTIVITY_AND_EMISSIVITY_OF_ROOFS_ON_BUILDING_COOLING_AND_HEATING_ENERGY_USE
3. Avila, G. (2017) *Medición y Monitoreo en Tiempo Real y Análisis de Datos del Consumo Energético en la biblioteca de la USFQ*. Universidad San Francisco de Quito. Obtenido el 20 de diciembre de 2018 desde <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/6986>
4. Ayuso, M. (2016). *Una demanda de energía insostenible. El peligro oculto del aire acondicionado*. Recuperado desde https://www.elconfidencial.com/alma-corazon-vida/2016-06-01/peligo-aire-acondicionado-cambio-climatico-emisiones-energia_1209828/
5. Báez, S. (2011). *Análisis del Consumo Energético-Eléctrico de la Universidad San Francisco de Quito*. Universidad San Francisco de Quito. Recuperado desde <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/1336>
6. BASIX (s.f.) *Heating and cooling loads*. NSW Department of Planning and Environment. Obtenido el 20 de diciembre de 2018 desde <https://www.basix.nsw.gov.au/iframe/about-basix/history.html>
7. BSI (2012). *University reduces carbon emissions by 11 per cent and total energy savings by £10,000 per month*. Recuperado desde <https://www.bsigroup.com/LocalFiles/en-GB/iso-50001/case-studies/BSI-ISO50001-Sheffield-Hallam-University-Case-Study-UK-EN.pdf>
8. Carrier (s.f.) *Xpower Safirus Inverter Catalog*. Obtenido el 20 de diciembre de 2018 desde http://www.carrier.com.ec/pdf/products_pdf/CAR%201398%20XPower%20Safirus.pdf
9. Cazorla, M. (2012). *Análisis de los datos horarios de radiación solar y abundancia de ozono del Distrito Metropolitano de Quito del 2007 al 2012*. Avances en Ciencias e Ingeniería: Universidad San Francisco de Quito.

10. Cengel Y. y Boles, M. *Thermodynamics An Engineering Approach*. Air Conditioning. New York: McGraw Hill Education.
11. Coheco [1] (s.f.) *Nex Way Saw Catalog*. Mitsubishi Electric. Obtenido el 20 de diciembre de 2018 desde http://www.coheco.com/home/component/docman/doc_download/1-.html
12. Coheco [2] (s.f.) *Seriez Z Catalog*. Mitsubishi Electric. Obtenido el 20 de diciembre de 2018 desde http://www.coheco.com/home/component/docman/doc_download/3-.html
13. Corrales, M. (2014). *Plan Para Reducir El Consumo De Energía Eléctrica En El Campus Cumbayá De La USFQ*. Universidad San Francisco de Quito. Recuperado desde <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/3574>
14. Dunietz, J. (2016) *The Hidden Science of Elevators*. Popular Mechanics. Obtenido el 20 de diciembre de 2018 desde <https://www.popularmechanics.com/technology/infrastructure/a20986/the-hidden-science-of-elevators/>
15. Ecoluzled.com (s.f.) *Equivalencias LED (W) y las Bombillas Tradicionales*. Obtenido el 20 de diciembre de 2018 desde <https://www.ecoluzled.com/content/8-que-consumo-tiene-una-bombilla-led>
16. Energy.gov. (2018). *Adding Insulation to an Existing Home | Department of Energy*. Recuperado el 20 de diciembre de 2018 desde <https://www.energy.gov/energysaver/weatherize/insulation/adding-insulation-existing-home>
17. Energy.gov. (2018). *Do-It-Yourself Home Energy Audits | Department of Energy*. Recuperado el 20 de diciembre de 2018 desde <https://www.energy.gov/energysaver/home-energy-audits/do-it-yourself-home-energy-audits>
18. Energy.gov. (2018). *Thermographic Inspections | Department of Energy*. Available at: <https://www.energy.gov/energysaver/thermographic-inspections>
19. Engineeringtoolbox.com (s.f.) *Radiation Heat Transfer*. Recuperado desde https://www.engineeringtoolbox.com/radiation-heat-transfer-d_431.html
20. Flores, L., Escobosa, N. & Espinosa, L. (2016) *Manual Para la Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía*. CONUEE. 2da Edición
21. Fontur.com (s.f.) *Manual de Escaleras Electricas*. Obtenido el 20 de diciembre de 2018 desde <http://www.fontur.com.co/showfile/0/5672>

22. Incropera, F. & Dewitt, D. (2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Seventh Edition. p. 990-991. John Wiley & Sons: United States of America.
23. INEN (2007) *CÓDIGO DE SEGURIDAD DE ASCENSORES PARAPASAJEROS. REQUISITOS DE SEGURIDAD*. Obtenido el 20 de diciembre de 2018 desde http://macelectronic.net/PAGINA/DESCARGAS/NORMAS/INEN_ASCENSORES_018.pdf
24. INEN (2011) *SISTEMAS DE GESTION DE LA ENERGIA. REQUISITOS CON ORIENTACION PARA SU USO*.
25. Klements, M. (2017) *Simple 3 Phase Arduino Energy Meter*. Obtenido el 20 de diciembre de 2018 desde <http://www.the-diy-life.com/simple-3-phase-arduino-energy-meter/>
26. Manville, J. (2016). *Understanding Cool Roofs*. Energy Environment and Roofing Design. Recuperado desde https://www.jm.com/content/dam/jm/global/en/commercial-roofing/brochures/RS-7616_UnderstandingCoolRoofs.pdf
27. Manville, J. (2016). *Understanding Cool Roofs*. Energy Environment and Roofing Design. Taken from https://www.jm.com/content/dam/jm/global/en/commercial-roofing/brochures/RS-7616_UnderstandingCoolRoofs.pdf
28. Massoni, V. (2012) *EL ASCENSOR: POTENCIA, CONSUMO, ENERGÍA*. Recuperado desde <http://www.camaradeascensores.com.ar/index.php/component/content/article/36-notas-destacadas/131-el-ascensor-potencia-consumo-energia>
29. Ministerio de Industrias y Productividad (2014) *RESOLUCIÓN No. 14 464*. Subsecretaria de la Calidad. Obtenido el 20 de diciembre de 2018 desde http://www.inmetro.gov.br/barreirastecnicas/pontofocal/..%5Cpontofocal%5Ctextos%5Cregulamentos%5CECU_252_ADD_1.pdf
30. Mitsubishi Electric (s.f.) *Elevator Modernization*. Obtenido el 20 de diciembre de 2018 desde http://www.mitsubishielectric.com/elevator/modernization/elevator_index.html
31. Mitsubishi Electric (s.f.) *Escalators Seriez Z for USA*. Obtenido el 20 de diciembre de 2018 desde https://www.mitsubishielevator.com/images/uploads/documents/pdf/escalators/linear/Z_brochure_2017.pdf
32. Mitsubishi Electric (s.f.) *Nexiez Lite Catalog*. Recuperado desde http://www.mitsubishielectric.com/elevator/products/basic/elevators/nexiez-lite/pdf/nexiez-lite_catalog.pdf

33. Mitsubishi Electric [1](s.f.) *Nexiez Lite Catalog*. Passenger Elevators. Obtenido el 20 de diciembre de 2018 desde http://www.mitsubishielectric.com/elevator/products/basic/elevators/nexiez-lite/pdf/nexiez-lite_catalog.pdf
34. Mitsubishi Electric [2] (s.f.) *Escalator Modernization*. Obtenido el 20 de diciembre de 2018 desde http://www.mitsubishielectric.com/elevator/modernization/escalator_index.html
35. Naciones Unidas (s.f.) *Objetivo 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos*. Obtenido el 20 de diciembre de 2018 desde <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>
36. NOAA (s.f.) *Weather Averages*. Recuperado desde <https://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/datasets/GHCND/locations/CITY:EC000009/detail>
37. Papiewski, J. (s.f.) *The Average Heat Output of a Computer*. Obtenido el 20 de diciembre de 2018 desde <https://smallbusiness.chron.com/average-heat-output-computer-69494.html>
38. Perez, P. (2018) *Huella de Carbono de la Universidad San Francisco de Quito año 2017 y Plan de Mitigación de Emisiones de CO₂-eq*. Universidad San Francisco de Quito. Obtenido el 20 de diciembre de 2018 desde <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/7594>
39. Pierre, K. (2018) *El calentamiento que genera el aire acondicionado*. Obtenido el 20 de diciembre de 2018 desde <https://www.nytimes.com/es/2018/05/18/aire-acondicionado-calentamiento-global/>
40. Robertson et al. (1985) *Comparison of health problems related to work and environmental measurements in two office buildings with different ventilation systems*. British Medical Journal. Recuperado desde <https://www.bmj.com/content/bmj/291/6492/373.full.pdf>
41. Sanchez, S. (2011) *Ascensores y Escaleras Electricas*. Obtenido el 20 de diciembre de 2018 desde <https://es.slideshare.net/soriposa/ascensores-y-escaleras-elctricas>
42. Shen, N. (2010) *Escalators vs Elevators*. Slate. Recuperado el 20 de diciembre de 2018 desde <https://slate.com/technology/2010/08/how-much-energy-do-escalators-use.html>
43. SmartGrid.gov (s.f.) *What is the Smart Grid?* Obtenido el 20 de diciembre de 2018 desde https://www.smartgrid.gov/the_smart_grid/smart_grid.html
44. Sniderman, D. (2012) *Energy Efficient Elevator Technologies*. Asme. Obtenido el 20 de diciembre de 2018 desde <https://www.asme.org/engineering-topics/articles/elevators/energy-efficient-elevator-technologies>

45. [TheEngineeringMindset] (2017, diciembre 18) Cooling Load Calculation - Cold Room [Archivo de video] Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=0gv2tJf7nwo&t=725s>
46. Velasco, C. (2017) *A System Dynamics Approach for Modelling Water Consumption at USFQ*. Universidad San Francisco de Quito. Obtenido el 20 de diciembre de 2018 desde <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/6447>
47. Villacreses, S., & Eréndira, C. (2016). *Estudio Piloto del Consumo Energético de la Universidad San Francisco de Quito*. Universidad San Francisco de Quito. Recuperado desde <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/5413>
48. Washington and Lee University (s.f.) *Policies*. Obtenido el 20 de diciembre de 2018 desde <https://www.wlu.edu/sustainability/wandls-commitment/policies>

ANEXO A: MODELO DE POLITICAS ENERGETICAS

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

USFQ



POLITICA ENERGETICA

| | | |
|----------------|---------------|---------------|
| Elaborado por: | Revisado por: | Aprobado por: |
| Carlos Cabezas | | |
| Fecha: | Fecha: | Fecha: |

La Universidad San Francisco cuya visión busca el desarrollo científico y tecnológico, y su misión es la de servir a la comunidad, une ambas partes para demostrar su compromiso hacia una universidad sostenible. Tomando conciencia en los recursos que utiliza y su impacto medioambiental, buscara por medio de las presentes políticas reducir el consumo energético en la universidad.

Este documento podrá ser modificado sin previo aviso para ser adaptado a la normativa expedida por los órganos de control del Ministerio de Medio Ambiente o del Ministerio de Electricidad y Energía Responsable u otras instituciones pertinentes. Cualquier cambio que sea procesado se hará en la versión digital publicada en la página web de la Universidad a la que debe remitirse el estudiante de la USFQ.

INTRODUCCION

La presente política nace como respuesta a la necesidad inminente de cambios que se debe tomar para prevenir el aumento de la huella de carbono y por ende de la contaminación que se genera por las diferentes actividades y sistemas que la Universidad San Francisco realiza. Una de las motivaciones para implementar esta política nace del Objetivo 13 de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, “Adoptar Medidas Urgentes para Combatir el Cambio Climático y sus Efectos”; que advierte sobre el aumento de la temperatura de la tierra en 0.85 grados Centígrados entre 1880 y 2012, causada por un incremento de las emisiones de Dióxido de Carbono de 50% desde 1990, entre otros factores, y las consecuencias que todos estos cambios tienen y tendrán hacia un futuro. Una de las metas de este Objetivo es la incorporar medidas relativas al cambio climático como son las políticas, respondiendo a esto la USFQ toma conciencia del impacto que genera con una comunidad de más de 10 000 personas. Esta política es el resultado de varios trabajos y estudios realizados en la USFQ que han buscado volver a la Universidad un espacio más amigable con el Medio Ambiente.

POLITICA

1. La Universidad San Francisco de Quito y todos los miembros de su comunidad se comprometen a reducir y tomar conciencia sobre el impacto de sus actividades dentro y fuera de la Universidad.
2. La Universidad San Francisco de Quito se compromete a reducir o mantener su actual consumo eléctrico, indiferente del crecimiento de su comunidad.
3. La Universidad San Francisco de Quito y su alta gerencia se compromete con esta política, y a fomentar los distintos cambios que puedan provenir de esta. También se compromete a impulsar los distintos proyectos, facilitar la implementación, y estar abiertos a propuestas que atañen a esta política, siempre y cuando sean presentados/as de manera que reflejen un trabajo de investigación rigurosa, verificada y de alta calidad.
4. La Universidad San Francisco de Quito se compromete a cambiar de manera gradual su sistema de iluminación para dar paso a la tecnología LED, que ha demostrado una alta reducción en el consumo eléctrico, hasta cubrir todo el campus con esta tecnología.
5. Se alienta a los miembros de la Universidad a reducir el uso de ascensores y escaleras eléctricas, salvo sea un caso de profunda necesidad.
 - a. El uso de ascensores deberá ser destinado a personas con discapacidad, o que realmente lo necesiten.
 - b. La programación en ascensores será actualizada para responder a estos cambios.
 - c. Las escaleras eléctricas deberán descontinuadas y sustituidas por escaleras normales, ya que su uso actual no es justificado.
6. La Universidad San Francisco buscara alternativas que sustituyan el uso de aire acondicionado en aulas y oficinas, tales como pero no limitadas a: la implementación de aislamiento en los techos o el recubrimiento de color blanco en terrazas.
 - a. Aquellas oficinas que todavía utilicen aire acondicionado, deberán mantener sus puertas y ventanas cerradas, para evitar el sobreesfuerzo eléctrico del equipo.
7. Las computadoras de la Universidad estarán programadas para entrar en modo de bajo consumo cada 10 minutos. A su vez deberán ser totalmente apagadas en horas de bajo uso.

8. La Universidad San Francisco cuenta con distintas clases en distintas áreas, dentro de las cuales una gran parte de ellas tiene la realización de un proyecto como una actividad. Se buscara incentivar e impulsar que en aquellas clases los estudiantes, si ellos así lo desean, realicen su proyecto canalizado hacia esta política. Esto puede incluir pero no se encuentra limitado a:
 - a. Campañas Publicitarias. Tanto de la política en general, como de concientización sobre la importancia del ahorro energético o de nuevas implementación a lo largo de la Universidad.
 - b. Proyectos de Ingeniería. Donde los estudiantes puedan identificar problemas e implementar soluciones, haciendo uso de sus conocimientos.
9. Todos los miembros de la comunidad San Francisco son responsables por el uso de la electricidad dentro de la Universidad, es por ello que es indispensable que cada persona dentro de la Universidad se cerciore de apagar las luces al salir de su zona de trabajo.
 - a. Las luces externas que no se encuentran de acceso permitido para estudiantes, profesores y otros miembros del personal, son responsabilidad de los guardias de la Universidad. Si se determina que la zona se encuentra iluminada de manera natural y no es necesario iluminación artificial es imperativo que estas luces sean apagadas.
 - i. Los estudiantes, profesores, y otros miembros del personal tienen la responsabilidad de hacer notar a los guardias de zonas que se encuentren iluminadas innecesariamente para que puedan responder de manera adecuada.
10. Todos los miembros de la Universidad tienen la responsabilidad de usar solo la energía que necesitan, por lo que el uso de enchufes debe ser responsable y eficiente. La mayoría de equipos continúan consumiendo electricidad solo con el hecho de estar conectados, se hace un hincapié tanto para las computadoras y los cargadores de celulares.
11. La Universidad San Francisco se compromete a realizar continuas auditorias de consumo de energía para los equipos usados en laboratorios, y otras áreas de alto consumo eléctrico.

12. La Universidad San Francisco se compromete a realizar una auditoria anual general para determinar que todos los procesos se estén llevando de manera correcta y si existen correcciones por hacer.
 - a. Todas las auditorias y procesos realizados deben ser documentados y almacenados correctamente.
13. La Universidad San Francisco realizara un plan económico mediante el cual todos los ahorros generados por la implementación de esta política o de otras soluciones destinadas a reducir el consumo de electricidad, serán acumuladas para continuar implementando mejoras, creando un sistema autosustentable de mejoras continuas.
14. La Universidad San Francisco buscara implementar a mediano o largo plazo una fuente de energía renovable para el campus. Este será el paso más significativo de la Universidad hacia reducir su consumo eléctrico, al aumentar una fuente de energía con un pequeño impacto ambiental.

ANEXO B: DIAGRAMA UNIFILAR DEL TABLERO DE ASCENSORES Y ESCALERAS ELECTRICAS

