



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DEL CAMPUS BEAUCHEF DE LA  
UNIVERSIDAD DE CHILE**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELÉCTRICO**

**JORGE IGNACIO CAMPOS FLORES**

**PROFESOR GUÍA:  
LUIS VARGAS DIAZ**

**MIEMBROS COMISIÓN  
CLAUDIA MAC LEAN BRAVO  
ARIEL VALDENEGRO ESPINOZA**

**SANTIAGO DE CHILE  
2016**

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL  
TITULO DE INGENIERO CIVIL ELECTRICO  
POR: JORGE IGNACIO CAMPOS FLORES  
FECHA: 28/03/2016  
PROFESOR GUIA: LUIS VARGAS

### **“OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DEL CAMPUS BEAUCHEF”**

El cambio climático es un hecho innegable el día de hoy, para aminorar sus efectos es necesario hacer un uso eficiente de los recursos energéticos y transformar la matriz de generación de electricidad en una no dependiente de los combustibles fósiles sino de fuentes renovables y amigables con el medio ambiente.

Este trabajo de título tiene por objetivo elaborar un plan de gestión energético para la Facultad de Ciencia Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, que integre el uso eficiente de la energía y la generación de electricidad por medio de fuentes renovables.

Para esto se hace un análisis del consumo de energía en Chile para dar contexto y conocer como se espera manejar el recurso electricidad a futuro en el país.

Se analiza el consumo de energía dentro de la FCFM y como se han tomado medidas de manejo de la energía en los últimos años, incluyendo una auditoria energética al campus y un proyecto piloto en el edificio de ingeniería eléctrica. Además se investiga como universidades destacadas a nivel mundial implementan programas de sustentabilidad y específicamente en energía, con tal de conocer la experiencia internacional en esta temática.

El plan de manejo energético abarca los siguientes puntos: monitoreo, autogeneración de energía eléctrica, eficiencia energética, estudios tarifarios y mantención de instalaciones eléctricas.

Para monitorear las instalaciones del campus se necesitan 12 equipos con una inversión de \$6,6 millones. Autogeneración a base de energía eólica no es posible ya que no se cumplen condiciones de viento favorables para su instalación, las instalaciones fotovoltaicas recuperan su valor invertido en equipos en un plazo aproximado de 7 años para potencias instaladas de 2.5 a 15 KW. Un cambio de tarifa AT3 a AT4.3 en 2 empalmes de alimentación de la facultad representan un ahorro de 20 millones a 2015, correspondiente a un 3% del gasto en electricidad. En cuanto a medidas de eficiencia energética en iluminación se recomienda implementar cambio a luminarias led en el futuro a medida que su costo disminuya; con respecto a calefacción el cierre de circuitos en las noches puede ser implementado en Torre Central y Geología ahorrando 60,4 MWh al año. Las instalaciones eléctricas del CEC, Edificio Escuela, Química y Civil-Geofísica requieren mantenciones.

El plan elaborado es un primer paso para mejorar el desempeño energético del campus Beauchef, así mismo, se debe entender que este es un proceso continuo y los esfuerzos por minimizar el consumo deben ser constante a lo largo del tiempo.

## **Agradecimientos**

En primer lugar quiero agradecer a mi familia; papa Jorge, mama Patricia y mis hermanos Seba y Pato. Por brindarme todo el amor que necesito, apoyarme siempre a lo largo de mis 24 años vida, y ser una familia que se mantiene unida y que se ama, a pesar de las dificultades que se presentan en la vida.

A mis abuelos la lela Carmen y el lelo, que ya no está acá pero su recuerdo siempre vivirá conmigo. Por ser mis segundos padres, por acompañarnos siempre a mí y a mis hermanos en nuestra infancia, por darme valores y ser ejemplo de que siempre se puede dar lo mejor de uno por la gente que amas.

A mis profesores guías, Luis Vargas por estar dispuesto a trabajar en post de un campus más sustentable desde el departamento de ingeniería eléctrica, y especialmente a Claudia Mac Lean por ser un apoyo constante a lo largo del desarrollo de esta memoria y fuente de inspiración para hacer de este mundo un lugar mejor para todos.

A los EC, mis primeros amigos que me demostraron que las viejas amistadas no se pierden por la distancia o el tiempo, el cariño no se pierda y siempre estará entre nosotros.

A Tala Power, amigos de colegio, a quienes aprendí a conocer ya en la universidad, son un grupo demasiado especial, en todo sentido, nunca cambien. Gracias por darme su amistad, aceptarme dentro del grupo y por tantos momentos de alegría que hemos compartidos juntos. Su amistad es de verdad invaluable y seguirá por el resto de nuestras vidas.

Por ultimo pero no menos importante a Energylab. Cabros son el mejor recuerdo que me puedo llevar de la universidad, gracias por todos los momentos compartidos, y hacer de una experiencia llena de alegría venir a la U cada día. La amistad no termina ahora y les deseo a todos el mayor de los éxitos en su vida.

En fin esta memoria va dedicada a la gente que quiero y me ha llevado a ser el hombre que soy hoy en día.

## Tabla de contenido

1	Introducción.....	1
1.1	Motivación.....	1
1.2	Objetivos .....	1
1.2.1	Objetivo General.....	1
1.2.2	Objetivos Específicos .....	1
1.3	Alcances .....	2
2	Contextualización .....	3
2.1	Eficiencia Energética en Chile .....	3
2.1.1	Sector minería e industria .....	4
2.1.2	Sector residencial y servicios .....	5
2.1.3	Sector Transporte .....	6
2.2	Eficiencia Energética en FCFM .....	7
2.2.1	Acuerdo de producción Limpia (APL).....	7
2.2.2	Inventario energético y auditoria energética .....	14
2.2.3	Medidas Piloto Ingeniería Eléctrica.....	16
2.3	Gestión Energética en Campus Internacionales .....	19
2.3.1	Universidad California Berkeley.....	19
2.3.2	Universidad de British Columbia .....	22
2.3.3	Universidad de Queensland .....	24
2.4	ISO 50001: Sistemas de Gestión de la Energía .....	27
2.4.1	Análisis Inicial.....	28
2.4.2	Compromisos de Alta Gerencia .....	29
2.4.3	Requerimientos Medulares .....	30
2.4.4	Requerimientos Estructurales .....	31
3	Metodología.....	32
4	Planificación Energética Campus Beauchef.....	33
4.1	Monitoreo .....	33
4.2	Auto generación de energía eléctrica .....	35
4.2.1	Recursos Eólico.....	35
4.2.2	Recurso Solar .....	37
4.3	Eficiencia Energética.....	41
4.3.1	Iluminación .....	41
4.3.2	Climatización.....	42
4.3.3	Escenarios de Eficiencia Energética .....	44
4.4	Análisis Tarifario .....	46

4.4.1	Opciones Tarifarias .....	46
4.4.2	Comparación Tarifas .....	48
4.4.3	Caso FCFM .....	49
4.5	Mantenimiento Instalaciones Eléctricas .....	51
4.5.1	Edificio Escuela.....	52
4.5.2	Edificio Química .....	53
4.5.3	Edificio Física .....	54
4.5.4	Torre Central .....	55
4.5.5	Edificio Ingeniería Eléctrica.....	56
4.5.6	Edificio Civil- Geofísica.....	56
4.5.7	Edificio Geología.....	58
4.5.8	Edificio Blanco Encalada 2120 (CEC).....	59
4.6	Resumen Planificación Energética.....	60
5	Conclusiones .....	61
6	Bibliografía .....	63

## Índice de Tablas

Tabla 2.1: Contactos Difusión MTD .....	9
Tabla 2.2: Consumo FCFM 2011 a 2015 .....	13
Tabla 2.3: Categorización Tipo Sub-tipo Inventario .....	15
Tabla 2.4: Recomendaciones EMP UQ .....	25
Tabla 4.1: Medidores FCFM .....	34
Tabla 4.2: Características terreno beauchef .....	35
Tabla 4.3: Características generador eólico .....	36
Tabla 4.4: Especificaciones Panel .....	39
Tabla 4.5: Relacion \$/KW de inversores.....	39
Tabla 4.6: Recuperación capital plantas fotovoltaicas .....	39
Tabla 4.7: Comparación características led - fluorescente.....	42
Tabla 4.8: Comparación gasto led - fluorescente .....	42
Tabla 4.9: Chiller por edificio .....	43
Tabla 4.10: Eficiencia energética clima .....	44
Tabla 4.11: Iluminación por edificio .....	44
Tabla 4.12: VAN casos eficiencia energética .....	45
Tabla 4.13: Empalmes FCFM .....	46
Tabla 4.14: Cargos Tarifas .....	48
Tabla 4.15: Tarifas Beauchef 850 .....	50
Tabla 4.16: Tarifas Tupper 2007 .....	50
Tabla 4.17: Tarifas Blanco 2120.....	51
Tabla 4.18: Tarifas Blanco 2002.....	51
Tabla 4.19: Prioridad Mantenimiento.....	59
Tabla 4.20: Plazo medidas de acción .....	60

## Índice de Figuras

Figura 2.1: Intensidad energética consumo primario y final .....	3
Figura 2.2: Participación del consumo final por sector .....	4
Figura 2.3: Variación intensidad manufactura y minería .....	4
Figura 2.4: Intensidad del consumo final y eléctrico .....	5
Figura 2.5: Proyección generación planta hidráulica.....	11
Figura 2.6: Participación de consumos .....	11
Figura 2.7: Consumo Eléctrico FCFM .....	12
Figura 2.8: Comparacion FCFM con otras universidades.....	14
Figura 2.9: Zonificación FCFM .....	14
Figura 2.10: Consumos por zonas .....	16
Figura 2.11: Propuestas medidas eficiencia energética, +Energía .....	16
Figura 2.12: Consumo global semana ingeniería eléctricas .....	17
Figura 2.13: Consumo clima ingeniería eléctrica .....	18
Figura 2.14: Interfaz tableros monitoreo de consumo .....	20
Figura 2.15: Consejos campaña myPower .....	21
Figura 2.16: Emisiones de CO <sub>2</sub> UC Berkeley .....	22
Figura 2.17: Planta biomasa UBC.....	23
Figura 2.18: Planta fotovoltaica UQ .....	26
Figura 2.19: Esquema Sistemas de Gestión de la Energía .....	27
Figura 2.20: Planificación Energética .....	30
Figura 3.1: Metodología plan de gestión de energía.....	32
Figura 4.1: Diagrama unilineal FCFM.....	33
Figura 4.2: Velocidad promedio del viento en FCFM .....	35
Figura 4.3: Frecuencia de la velocidad del viento .....	36
Figura 4.4: Carta operación generador eólico .....	37
Figura 4.5: Radiación promedio diaria del campus Beauchef .....	38
Figura 4.6: Panel fotovoltaico .....	39
Figura 4.7: Ubicación planta solar hidráulica .....	40
Figura 4.8: Desglose consumo iluminación .....	41
Figura 4.9: Desglose consumo climatización .....	43
Figura 4.10: Potencia Facturada Blanco 2002 .....	49
Figura 4.11: Potencia Facturada Beauchef 850 .....	50
Figura 4.12: Vista subestacion escuela .....	52
Figura 4.13: Tablero general escuela .....	52
Figura 4.14: Tablero química.....	53
Figura 4.15: Interior tablero química .....	53
Figura 4.16: Transformador Física.....	54
Figura 4.17: Tablero general física.....	54
Figura 4.18: Acceso tablero torre central .....	55
Figura 4.19: Tablero general torre central .....	55
Figura 4.20: Subestacion eléctrica .....	56
Figura 4.21: Tablero general hidraulica .....	57
Figura 4.22: Interior tablero hidraulica .....	57
Figura 4.23: Tableros geofísica.....	57
Figura 4.24: Interior tablero general geofisca.....	57
Figura 4.25: Tableros geología .....	58
Figura 4.26: Interior tablero general geología .....	58
Figura 4.27: Subestacion CEC .....	59
Figura 4.28: Tablero CEC.....	59

# **1 Introducción**

## **1.1 Motivación**

El calentamiento global es un hecho innegable provocado por las acciones del ser humano. Una de sus causas es la emisión de gases de efecto invernadero asociados a la producción de energía mediante combustibles fósiles. Resulta imperante reducir el consumo de electricidad y cambiar los combustibles fósiles por fuentes de generación renovables para aminorar los efectos del cambio climático. Esta memoria se desarrolla bajo este ideal.

Con tal de revertir el cambio climático nace el concepto de una cultura sustentable, es decir, estar conscientes de los efectos económicos, sociales y ambientales de las acciones tomadas, al considerar estos 3 factores se busca que el desarrollo de las generaciones actuales no comprometan el desarrollo de las generaciones venideras.

Es necesario hacer un uso eficiente de los recursos disponibles para alcanzar un desarrollo sustentable, esto aplica a la energía mediante la eficiencia energética, por medio de la cual se pueden obtener los mismos resultados pero usando una menor cantidad de energía.

El uso de energías renovables como: solar, eólica, biomasa, hidráulica y geotérmica; debe ser el foco adoptado por los países a futuro para el desarrollo de una matriz energética limpia y amigable con el medio ambiente.

La Facultad de Ciencia Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, siendo una de las mejores instituciones de educación superior e investigación en el país debe hacerse partícipe de este proceso de cambio de mentalidad. Para esto se desarrolla un plan de manejo energético en el campus, que tenga prioridad el desarrollo sustentable de la Facultad.

Esta memoria nace de la Oficina de Ingeniería para la Sustentabilidad de la FCFM, como una de las múltiples iniciativas que desarrolla en post de instaurar la sustentabilidad dentro del campus Beauchef.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

- Desarrollar un plan de manejo de la energía para la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Se plantean los siguientes objetivos específicos para el desarrollo de esta memoria

- Analizar el uso de la energía a nivel país
- Analizar el uso de la energía en la FCFM
- Analizar como otras universidades realizan el manejo de su energía
- Conocer el funcionamiento de un sistema de gestión de la energía

### **1.3 Alcances**

Los alcances del plan de manejo de energía se remiten al uso de electricidad como recurso energético.

El plan se remite a las instalaciones de la FCFM, exceptuando el nuevo complejo de Beauchef 851 ya que este fue diseñado desde un principio con estándares de alta eficiencia energética, las instalaciones del departamento de Ingeniería Industrial ubicadas en Republica 701 e IDIEM.

## 2 Contextualización

### 2.1 Eficiencia Energética en Chile

En esta sección se da a conocer la evolución del consumo energético en Chile, para esto se toma como referencia el “Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética de la República de Chile, 2014” elaborado por la CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) [1].

Uno de los indicadores que refleja la eficiencia energética de un país es la intensidad energética, este valor relaciona el consumo de energía con el producto interno bruto, este índice se puede interpretar como la cantidad de energía necesaria para producir una unidad monetaria del PIB.

$$I. E. = \frac{\text{Energía Consumida}}{\text{PIB}}$$

El siguiente grafico muestra la intensidad energética del consumo primario y final de Chile entre los años 1990 al 2011, en kilogramos de petróleo equivalente (kep) por miles de pesos del año 2003. Entendiéndose por consumo primario el realizado en centros de transformación, tales como refinerías, centrales generadoras de electricidad, hornos de coque, plantas de gas, entre otros; y por consumo final el realizado por los clientes, ya sean de tipo industrial, minero, residencial o en transporte.

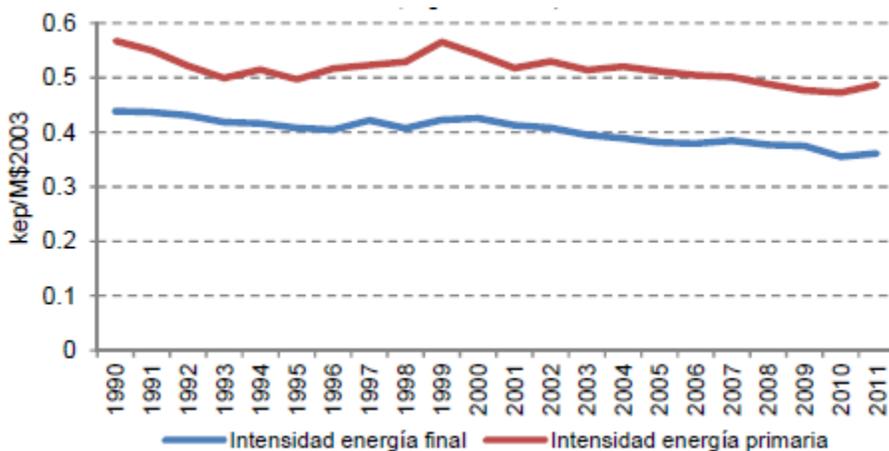
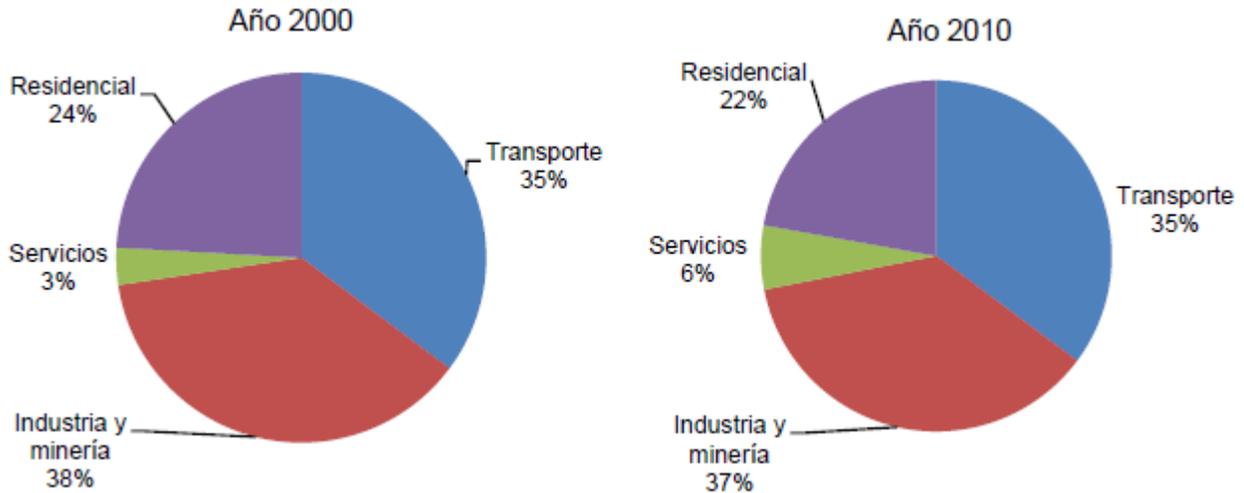


Figura 2.1: Intensidad energética consumo primario y final

Se observa que la intensidad energética ha disminuido en este periodo de tiempo, esto es atribuido a que desde el año 2000 el PIB ha aumentado a una tasa mayor (3,9% promedio) que el consumo de energía (2,4% promedio), por lo tanto el indicador disminuye. Específicamente la intensidad energética disminuye desde un 0,43 a 0,36 kep/M\$2003 desde el año 2000 al año 2011.

Para comprender los cambios de la intensidad energética se especifica la evolución de los sectores minería e industria, residencial y servicios, y transporte.

En la figura 2.2 se muestra la participación de cada sector en el consumo final.



**Figura 2.2: Participación del consumo final por sector**

### 2.1.1 Sector minería e industria

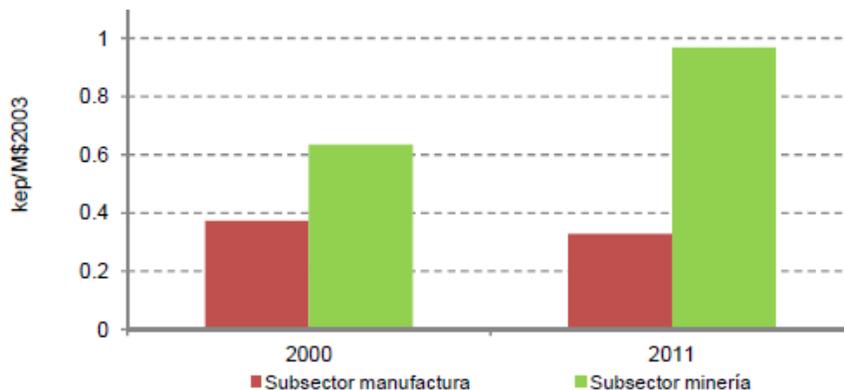
La intensidad promedio de este sector en el periodo 2000- 2011 fue de 0,43 kep/M\$2003 aumentando un 4%, el consumo creció un 33% y el PIB del sector un 28%.

El sector minería aumento en un 53% alcanzando los 0,97 kep/M\$2003, mientras que el sector industria disminuyo un 12%.

El subsector industria o manufactura incluye a las producciones de:

- Alimentos, bebidas y tabaco
- Textil
- Maderas y muebles
- Papel e imprenta
- Química, petróleo, caucho y plástico
- Minerales no metálicos y metálica básica
- Productos metálicos, maquinaria y equipos y otros

En la siguiente figura se muestra la intensidad para el subsector industria o manufactura y para minería, para el año 2000 y 2011.



**Figura 2.3: Variación intensidad manufactura y minería**

Cabe destacar que durante el periodo de análisis la participación del subsector industria en el sector industria y minería aumento de un 75% a un 80%. Esto tiene como efecto que la intensidad energética del sector aumentara solo un 4%, en cambio de mantenerse la estructura intacta el crecimiento hubiese sido de un 11%.

Con tal de mejorar la eficiencia energética en el sector se plantean los siguientes lineamientos, de acuerdo al Plan de Acción de Eficiencia Energética 2020 (PAEE2020).

- Implementar sistemas de gestión de la energía (ISO 50001)
- Promover la cogeneración
- Fomento a la asistencia técnica de proyectos con criterios de eficiencia energética
- Implementar tecnologías eficientes.

### 2.1.2 Sector residencial y servicios

En el sector residencial la intensidad energética disminuye en un 11% llegando a 1,11 Tep/hogar (Toneladas equivalentes de petróleo/hogar). El consumo de energía aumentó en un 14,7% y el número de hogares en 24%.

En la siguiente figura se muestra la evolución del consumo de energía final y del consumo eléctrico para los años 1997 a 2011

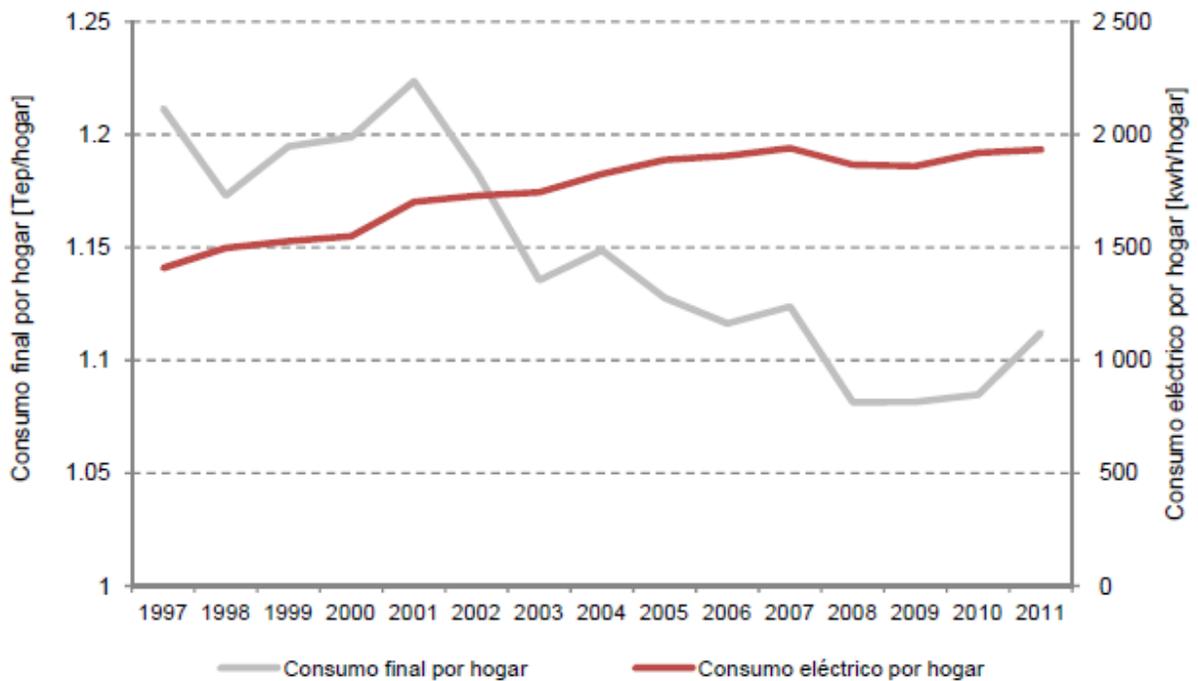


Figura 2.4: Intensidad del consumo final y eléctrico

El consumo final incluye el gasto en calefacción (56%), agua caliente (18%), electricidad (16%) y cocina (10%).

Se aprecia un aumento del consumo de energía eléctrica en los hogares debido a una mayor inserción de artefactos eléctricos. Al año 2002 el 80% de los hogares

poseía refrigeradores, lavadoras y televisores; para el año 2010 el 95% de las viviendas poseían estos artefactos.

En cuanto al sector servicios este aumentó 36%, alcanzando 0,033 kep/M\$2003 al 2011.

De acuerdo al PAEE2020 algunos lineamientos de eficiencia energética en el sector residencial y de servicios incluyen:

- Promover la gestión energética eficiente de edificios
- Promover el diseño de edificios con alto estándar de eficiencia energética
- Promover eficiencia energética de alumbrado público
- Sistema de etiquetado de eficiencia energética de artefactos
- Regulación al mercado de la leña

### **2.1.3 Sector Transporte**

El sector transporte agrupa a los subsectores caminero, aéreo y marítimo; estos representan un 80%, 9% y 11% del total, respectivamente.

La intensidad energética de este sector presentó una merma de un 18%, llegando a el 2011 a 0,12 kep/M\$2003. Esto se debe a que el aumento de consumo de energía fue de un 25% y el PIB creció un 53%, al aumentar el PIB a mayor tasa que el consumo de energía implica una disminución de la intensidad energética.

El PAEE2020 plantea los siguientes lineamientos de eficiencia energética en el sector transporte:

- Mejorar la eficiencia de los vehículos livianos y medianos que entran al parque automotriz
- Mejorar la eficiencia de operación de transporte de pasajeros
- Fomentar tecnologías eficientes en el parque de vehículos pesados, tales como sistemas aerodinámicos y sistemas de control de presión de neumáticos
- Incentivar el cambio hacia transportes más eficientes
- Inserción de vehículos eléctricos

## 2.2 Eficiencia Energética en FCFM

El año 2014 se crea Oficina de Ingeniería para la Sustentabilidad de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Esta tiene como visión promover e integrar una cultura sustentable en la formación de los alumnos de la facultad. Para lograr esto enfoca sus acciones en 4 lineamientos:

- Docencia
- Investigación
- Operaciones y Organización del campus
- Extensión

Actualmente el equipo de oficina está conformado por Claudia Mac-Lean como encargada del área y Pablo Garrido como ingeniero de proyectos. Además cuentan con apoyo de alumnos de diversas carreras de la facultad para la implementación de medidas.

Se han desarrollado iniciativas en torno a energía, recursos hídricos, residuos, huella de carbono, viaje compartido (car pooling) y capacitaciones a personal de la facultad sobre la importancia de la sustentabilidad.

La oficina se encuentra velando por el cumplimiento de los siguientes compromisos

- *Política de Sustentabilidad de la FCFM*: Política de Sustentabilidad aprobada triestamentalmente en el comité de sustentabilidad el año 2014.
- *Política de Sustentabilidad Universitaria de la Universidad de Chile*: Política aprobada por el senado universitario el año 2014.
- *Acuerdo de Producción Limpia (APL)*: Acuerdo firmado ante el Comité de Producción Limpia de la CORFO, consta de 11 metas a ser cumplidas en septiembre de 2015.
- *Ingeniería 2030*: Futura visión de la ingeniería en la FCFM para el año 2030.

### 2.2.1 Acuerdo de producción Limpia (APL)

El APL consta de 11 metas cuyo objetivo es insertar la sustentabilidad en las universidades que lo firmaron, entre ellas la FCFM. Las metas están asociadas a las siguientes temáticas [2]:

1. Compromiso institucional
2. Curriculum académico
3. Extensión
4. Investigación
5. Capacitación al personal
6. Huella de carbono
7. Energía
8. Agua
9. Reciclaje y residuos

10. Riesgo laboral

11. Residuos líquidos asimilables a riles

Específicamente la meta 7 del APL está enfocada a gestión de la energía. Esta establece lo siguiente: “Reducir en un 5% el consumo de energía en KWh equivalente por m2 en el total de las instalaciones adheridas” [2]

A continuación se presentan cada una de las acciones y cómo estas se cumplen.

*“Acción 7.1. Las instituciones de educación superior designarán un encargado de gestionar y sistematizar los indicadores de desempeño energético, definiendo sus responsabilidades y funciones. Este encargado deberá estar capacitado en materias de eficiencia de la energía y tendrá la responsabilidad de liderar la implementación del sistema de indicadores y metas, que incluirá su seguimiento y control.” [2]*

Respaldo Acción 7.1: Se designa mediante carta del vicedecanato como encargada del desempeño energético de la FCFM a Claudia Mac Lean.

*“Acción 7.2. El encargado de gestión de energía de cada una de las instituciones de educación superior será el responsable de registrar, informar y mantener actualizada la información, relacionada con energía, la cual está señalada en la acción 7.1.” [2]*

Respaldo Acción 7.2: Se cuenta con el consumo histórico de electricidad de los 4 empalmes que alimentan la facultad, estos datos son entregados por Chilectra.

*“Acción 7.3. Las instituciones de educación superior en conjunto con la Agencia Chilena de Eficiencia Energética y el Consejo Nacional de Producción Limpia, desarrollarán una guía de medidas de Mejores Técnicas Disponibles (MTD) de eficiencia energética.” [2]*

Respaldo Acción 7.3: Se cuenta con la “Guía de Apoyo al Desarrollo de Diagnósticos Energéticos para Instituciones de Educación Superior” realizada por la Agencia Chilena de Eficiencia Energética, específicamente el capítulo 5 corresponde a las MTD. Además se cuenta con un resumen de este capítulo para hacer más fácil su difusión entre los actores de la universidad.

*“Acción 7.4. Las instituciones de educación superior, difundirán la guía de medidas de Mejores Técnicas Disponibles (MTD) de eficiencia energética a cada estamento de la institución: funcionarios, académicos, estudiantes.” [2]*

Respaldo Acción 7.4: Las MTD fueron difundidas mediante un concurso para que los funcionarios las implementaran dentro de su área de trabajo en 2014. Además esta se distribuyó junto a las MTD de agua a los siguientes contactos, incluyendo a los jefes administrativos de cada unidad del campus.

**Tabla 2.1: Contactos Difusión MTD**

<b>Cargo</b>	<b>Contacto</b>
Administración de Campus	Fernando Solari
Arquitectura	Branko Halat
Arquitectura	Maytia Sáez
Jefe Planta Física	Jorge Orellana
Administrador Beauchef 851	Raúl Segovia
Jefe Administrativo Ingeniería Civil	Roberto Bravo
Jefe Administrativo Ingeniería Industrial	Roxana Bravo
Jefe Administrativo Jefe Administrativo DIM	María Cecilia Cea
Jefe Administrativo Ingeniería Química	Héctor Concha
Jefe Administrativo Física	Jaime Fabio
Jefe Administrativo Astronomía	Claudia Ramírez
Jefe Administrativo Ingeniería Mecánica	Ricardo Gallardo
Jefe Administrativo Geología	William Godoy
Jefe Administrativo Geofísica	Pamela Villoouta
Jefe Administrativo Astronomía	Ricardo Martínez
Jefe Administrativo Escuela de Ingeniería	Ma. Pía Orias
Jefe de Unidad de Tesorería	Rolando Núñez,
Jefe Administrativo Servicio Facultad	Carlos Reyes
Jefe Administrativo Proyectos	Erika Rojas,
Jefe Administrativo Ingeniería en Minas	Lilian Salinas
Jefe Administrativo Ciencias de la Computación	Alejandra Rodríguez
Jefe Administrativo CMM	María Antonieta Serei
Jefe Administrativo Ingeniería Eléctrica	Amalia Vargas
Jefe Administrativo Química Básica	Pedro Vargas
Subcontrataciones	Álvaro Araya

*“Acción 7.5. Las instituciones de educación superior implementarán una Auditoría de eficiencia energética en las instalaciones adheridas, la cual deberá ser realizada por profesionales externos o internos competentes en la materia. Esta Auditoría deberá considerar a lo menos: recopilación o información sobre uso y consumo de distintos tipos de energía, levantamiento de la línea base de consumos energéticos, detección de oportunidad de ahorro energético y*

*evaluación técnico económica de las oportunidades para desarrollar proyectos de eficiencia energética.” [2]*

Respaldo Acción 7.5: La auditoría energética fue realizada por profesionales externos, correspondientes a la empresa +Energía, la cual entrego el balance energético de la Facultad y variadas oportunidades de eficiencia energética dentro del campus. El reporte final se encuentra disponible en los archivos del APL.

*“Acción 7.6. Las instituciones de educación superior evaluarán la factibilidad técnico-económica de implementación de oportunidades de eficiencia energética, detectadas en la auditoría desarrollada en la acción 7.5 y otras.” [2]*

Respaldo Acción 7.6: Se tiene disponible el estudio de la factibilidad de las medidas recomendadas por la auditoria y otras medidas transversales aplicables a todo el campus.

*“Acción 7.7. Las instalaciones elaborarán un plan de desarrollo de gestión de la energía e implementación de las medidas de eficiencia energética identificadas en la acción anterior, para la evaluación mensual del indicador de desempeño energético.” [2]*

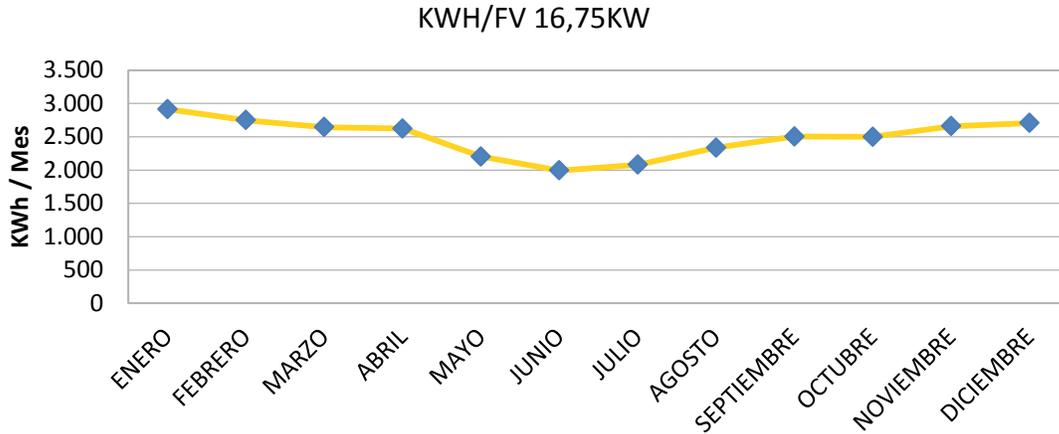
Respaldo Acción 7.7: Se cuenta con el plan de gestión de la energía elaborado con 5 ejes principales, los cuales son: Monitoreo, Autogeneración de Electricidad, Eficiencia Energética, Mantención de Instalaciones Eléctricas y Estudios Tarifarios.

*“Acción 7.8. Las instituciones de educación superior implementarán en las instalaciones adheridas a lo menos 4 de las alternativas que tengan mejor evaluación.”*

Respaldo Acción 7.8: Se cuenta con el respaldo de las medidas tomadas dentro de la FCFM, entre las cuales se encuentran capacitaciones al personal, inventario de los equipos consumidores de energía de la facultad, configurar los PC de la facultad en modo de bajo consumo, campañas comunicacionales, instalación de temporizadores en los circuitos de clima del edificio de Ingeniería Eléctrica y recambio de luminarias en el edificio Escuela.

*“Acción 7.9. La instituciones de educación superior evaluarán la factibilidad en las instalaciones adheridas, la implementación de fuentes de energía más limpia y la ejecución de a lo menos un proyecto de energía renovable no convencional (ERNC).” [2]*

Respaldo Acción 7.9: Se instalaron paneles solares en una banca y una mesa de la facultad los cuales son usados para cargar celulares o tablets. Se encuentra en proceso de construcción una terraza solar en la azotea del edificio poniente de Beauchef 851, la cual cuenta con una potencia instalada de 15 KW. Se evaluó el potencial solar de la azotea del edificio de Hidráulica, la cual en primera instancia podría tener una potencia instalada de 16,5 kW.



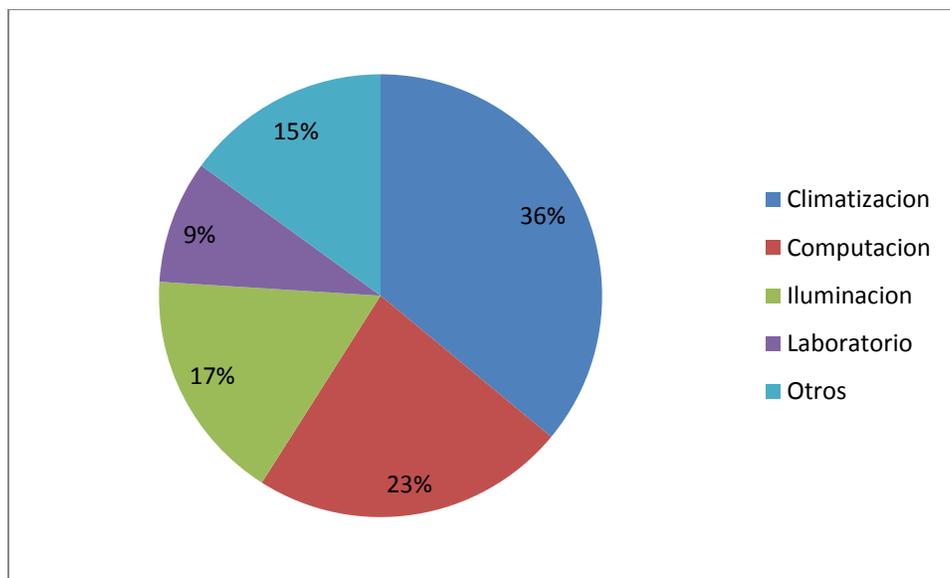
**Figura 2.5: Proyección generación planta hidráulica**

Ambas plantas en conjunto serían capaces de producir aproximadamente un 2% de los requerimientos de energía eléctrica del Campus.

“Acción 7.10. *Las instituciones de educación superior desarrollarán un informe que de cuenta de las reducciones de consumo de energía, lograda mediante la implementación de todas las acciones anteriores.*” [2]

Respaldo Acción 7.10: A continuación se muestra cómo ha evolucionado el consumo de electricidad en la FCFM.

El consumo de energía eléctrica se debe principalmente a 3 tipos: climatización, computación e iluminación, en conjunto equivalen al 75% del uso total de electricidad. En la siguiente figura se muestra la participación de diferentes clases de consumos en la facultad.

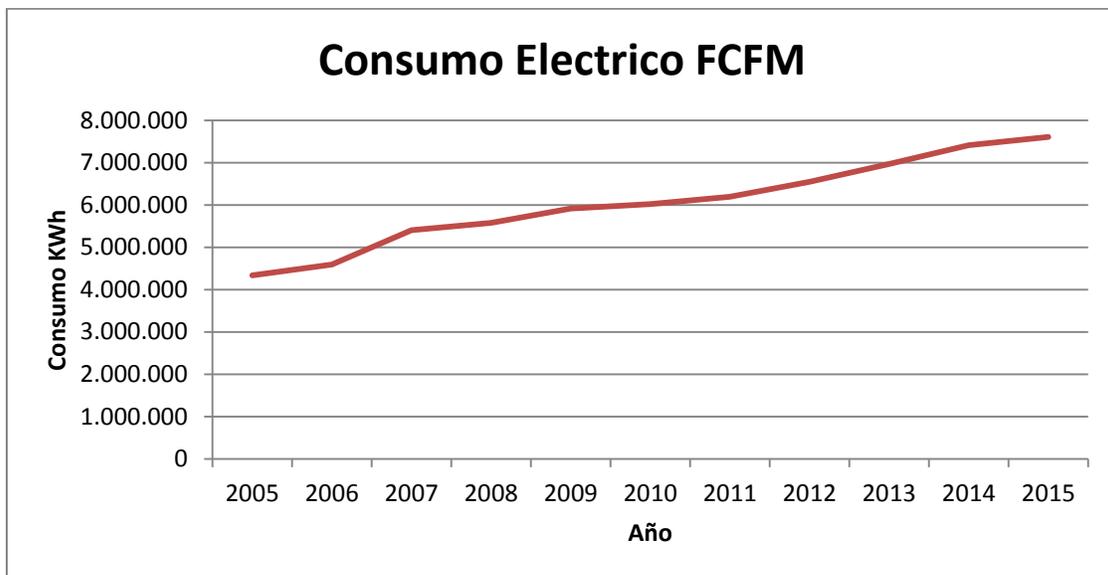


**Figura 2.6: Participación de consumos**

Dado esto los principales esfuerzos para disminuir el gasto energético corresponden a medidas en los equipos de clima, computación e iluminación.

En una primera instancia se sensibiliza al personal de la facultad para que tengan conciencia del gasto energético asociado sus acciones y de esta manera operar de una forma más eficiente los distintos artefactos, dentro de esto se incluye mantener las luces apagadas cuando no sean necesarias, configurar los pc en modo de bajo consumo y usar los aires acondicionados en un rango apto de acuerdo a las condiciones climáticas. Este tipo de acciones tiene un bajo costo económico por lo que son las primeras en tomar. Luego se apunta a medidas que tienen un mayor costo pero al mismo tiempo tienen un mayor impacto en el consumo tales como recambio de equipos o cierres de circuitos de clima en las horas nocturnas.

El siguiente grafico muestra la evolución del consumo eléctrico de la facultad, desde el año 2005 al 2015.



**Figura 2.7: Consumo Eléctrico FCFM**

El gasto en electricidad aumento desde 4,3 GWh en el 2005 a 7,6 GWh en el 2015, esto representa un aumento del 75% en este periodo de tiempo, incrementando en promedio un 5,8% anual.

Realizando un zoom a los últimos 4 años se tienen los siguientes datos.

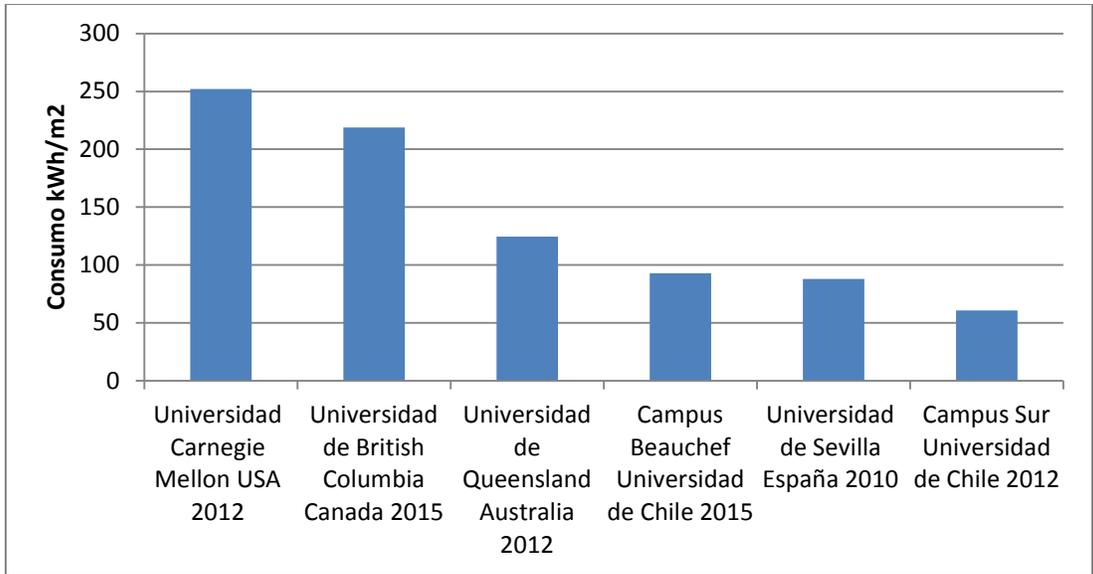
**Tabla 2.2: Consumo FCFM 2011 a 2015**

<b>Consumo KWh</b>					
Mes	2015	2014	2013	2012	2011
Enero	595.458	658.616	565.684	592.906	486.070
Febrero	631.311	566.965	550.597	531.319	439.296
Marzo	522.850	462.448	466.120	469.482	432.903
Abril	680.177	571.664	580.154	559.396	509.391
Mayo	642.882	570.275	573.452	533.335	508.819
Junio	602.775	641.513	595.679	572.296	557.322
Julio	686.195	685.654	616.017	566.114	593.462
Agosto	757.213	691.783	645.224	554.021	567.777
Septiembre	639.302	656.332	620.152	554.363	539.842
Octubre	614.967	621.921	589.470	530.181	504.267
Noviembre	619.762	690.666	591.480	530.401	514.903
Diciembre	616.975	595.233	573.819	551.077	535.094
<b>Total</b>	<b>7.609.867</b>	<b>7.413.070</b>	<b>6.967.848</b>	<b>6.544.891</b>	<b>6.189.146</b>

Del 2011 a 2014 años existió una tendencia a aumentar el consumo de electricidad en aproximadamente 400 MWh al año, lo que representa un aumento aproximado de un 6% anual. Entre 2014 y 2015 se revirtió esta tendencia aumentado solo 200 MWh equivalente a un 2,6%, esta disminución del aumento implica un ahorro de \$12.000.000 anuales en comparación a que se hubiera mantenido la tendencia de los años anteriores.

Esta merma en el aumento del consumo se puede asociar a las diferentes medidas que ha promocionado la Oficina de Ingeniería de la Sustentabilidad para incentivar la eficiencia energética en el campus. Por ejemplo el cierre del circuito de clima en el edificio de Ingeniería Eléctrica equivale a una disminución de aproximadamente 25 MWh al año.

En el siguiente grafico se compara el consumo de la FCFM con otras universidades del mundo.

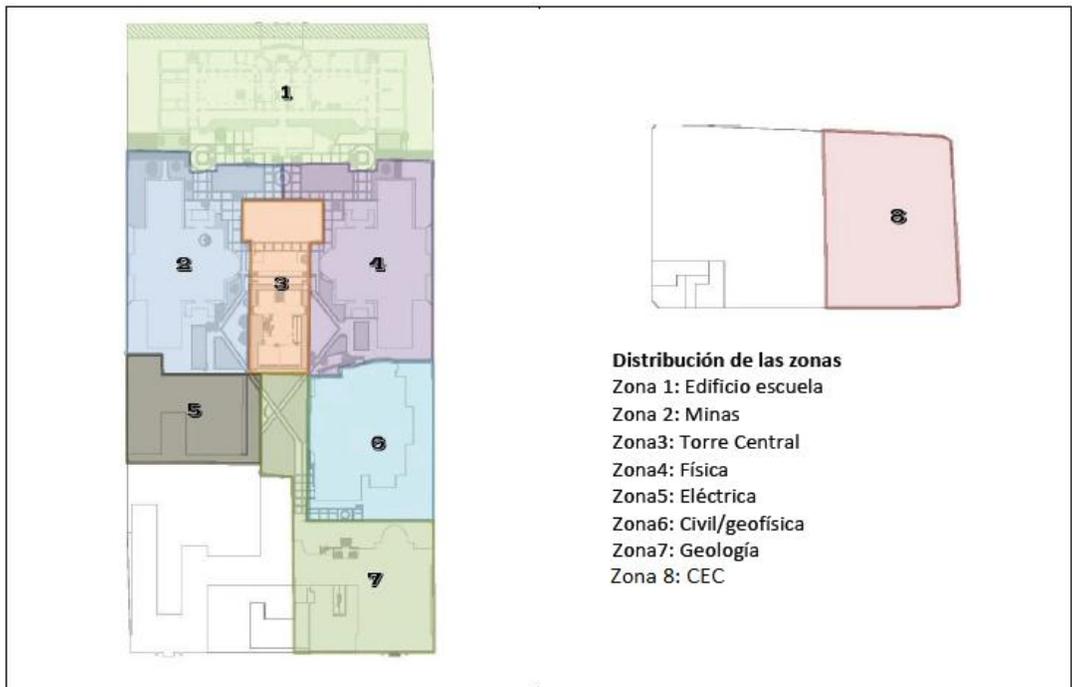


**Figura 2.8: Comparación FCFM con otras universidades**

En comparación a universidades de Canadá y Estados Unidos la FCFM consume poca energía. En gasto en electricidad es similar a la Universidad de Sevilla.

### 2.2.2 Inventario energético y auditoría energética

La oficina elaboro un inventario de los equipos presentes en la facultad, a excepción de los equipos localizados en el IDIEM y en Beauchef 851. Para la realización de este inventario se subdividió la facultad en zonas, estas se muestran en la siguiente figura



**Figura 2.9: Zonificación FCFM**

Los equipos en el inventario son clasificados de acuerdo a su ubicación (zona), tipo, potencia en W, cantidad, uso y antigüedad. La clasificación según tipo a su vez se divide en sub-tipo. Estos se explicitan en la tabla a continuación:

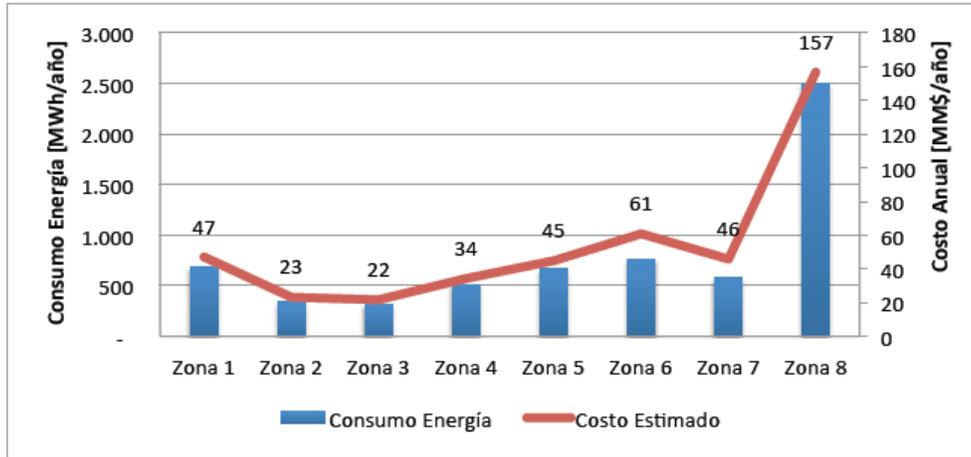
**Tabla 2.3: Categorización Tipo Sub-tipo Inventario**

<b>Tipo</b>	<b>Subtipo</b>	<b>Tipo</b>	<b>Subtipo</b>
Iluminación	Incandescente	Oficina	Escáner
	Fluorescente		Multifuncional
	Halógenos		Otros
	Led	Cocina	Horno
	Otros		Cafetera
Calefacción	Estufa a Gas Cilindro	Cocina	Hervidos
	Estufa a Gas Cañería		Otros
	Estufa Eléctrica	Climatización	A/C
	Otros		Ventilador
Notebook	Refrigerador		
Computación	Servidor	Climatización	Congelador
	Escritorio		Camara de Frio
	Otros		Otro
	Fotocopiadora		Laboratorio
Oficina	Impresora	Otro	

La adjudicación de un fondo concursable de la Agencia Chilena de Eficiencia Energética el año 2013, permitió el desarrollo de una auditoria energética en el campus Beauchef, a cargo de la empresa +Energía.

Esta auditoria entrega como resultado el estudio *“Revisión Energética y Propuestas de Mejora de Eficiencia Energética en el Campus Beauchef”*, el cual entrega las bases de los consumos en la facultad y posibles medidas de eficiencia energética a implementar.

Del estudio mencionado anteriormente se desprenden los siguientes perfiles de consumo para las zonas analizadas [3].



**Figura 2.10: Consumos por zonas**

Se aprecia que la mayor cantidad de electricidad se concentra en el edificio del CEC, esto debido a un alto consumo energético de los equipos de climatización, necesario para los servidores ubicados en esta construcción.

En el estudio se realiza un análisis detallado de los consumos por zonas, de este se desprenden posibles medidas de eficiencia energética a implementar en el campus. Estas se especifican a continuación.

Facultad	Medida	Inversión	VAN 10 años	TIR %	PRI Años	Reducción Zona %
Zona 1	Estudio cambio de tarifa eléctrica	100 M\$	17.4 MM\$	2300	<1	-
	Evaluación operación chiller confort	-	-	-	-	3%
	Reemplazo luminarias halógenas	6.9 MM\$	61.6 MM\$	119	<1	12%
Zona 2	Evaluación actividad laboratorios	-	-	-	-	6,3%
Zona 3	Evaluación reemplazo equipos a/c	-	-	-	-	>1%
Zona 4	Evaluación actividad laboratorio	-	-	-	-	10%
Zona 5	Estudio cambio de tarifa eléctrica	100 M\$	-14 MM\$ <sup>2</sup>	-	-	-
	Evaluación reemplazo sistema de climatización	-	-	-	-	12,7%
	Reposición por notebooks en oficinas	-	17,8 MM\$	-	-	18%
Zona 6	Estudio cambio de tarifa eléctrica	100 M\$	-26 MM\$ <sup>3</sup>	3500	<1	-
	Evaluación operación chiller confort	-	-	-	-	5%
Zona 7	Evaluación operación equipos a/c laboratorio	-	-	-	-	3%
Zona 8	Cambio de Tarifa eléctrica	100 M\$	52.8 MM\$	7200	<1	-
	Evaluación cierre de pasillos	-	-	-	-	3%
	Evaluación operación chillers confort	-	-	-	-	9%
	Reposición computador eficiente CEC	4.5 MM\$	4.2 MM\$	25	3	<1%

**Figura 2.11: Propuestas medidas eficiencia energética, +Energía**

Las propuestas están orientadas a cambios de tarifas eléctricas, control de la operación de equipos mayores y recambio de equipos menores.

### 2.2.3 Medidas Piloto Ingeniería Eléctrica

Durante el año 2014 se implementaron medidas de eficiencia energética en el edificio de Ingeniería Eléctrica, el cual serviría como piloto para luego expandir las medidas al resto del campus.

En cuanto a las medidas que se aplicaron al edificio son las siguientes

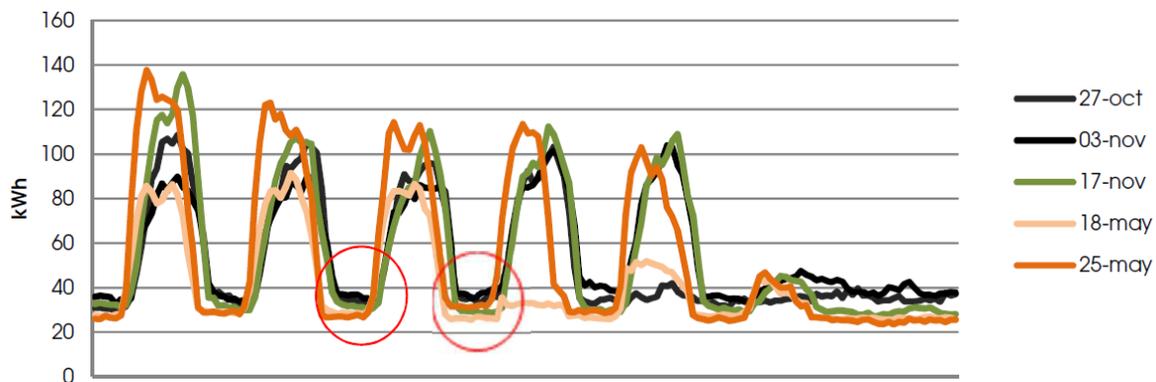
- Se instalaron temporizadores en los circuitos de clima los cuales funcionan de acuerdo al siguiente horario: 8:00 a 21:00 de lunes a viernes y de 10:00 a 20:00 los sábados.
- Configuración de los computadores en modo baja energía, se apaga la pantalla después de cierto tiempo sin ocupar y luego entra en estado de suspensión.
- Capacitaciones a los funcionarios del edificio, de manera de generar conciencia de ahorro energético.

Además se instalaron equipos de monitoreo energético, los cuales estuvieron operativos de octubre 2014 a julio 2015, estos equipos fueron provistos por la empresa Energea. [4]

El consumo de energía depende entre varios factores de las estaciones, temperatura, cantidad de ocupantes, entre otros que no se mantienen a lo largo del periodo de medición, por lo cual resulta complicado identificar específicamente el efecto de las medidas de eficiencia energética en el consumo total del edificio.

Por los factores mencionados anteriormente se decide hacer los análisis en cuanto a la evolución del consumo de fondo, este corresponde al consumo constante del edificio que se da cuando se encuentra desocupado.

En la figura 2.12 se muestra la evolución del consumo total semanal para 2 semanas antes de implementar las medidas (27 octubre y 3 noviembre 2014) y para otras 3 semanas en las cuales estaban efectuadas las acciones de eficiencia energética (17 noviembre 2014, 18 mayo y 25 mayo 2015).

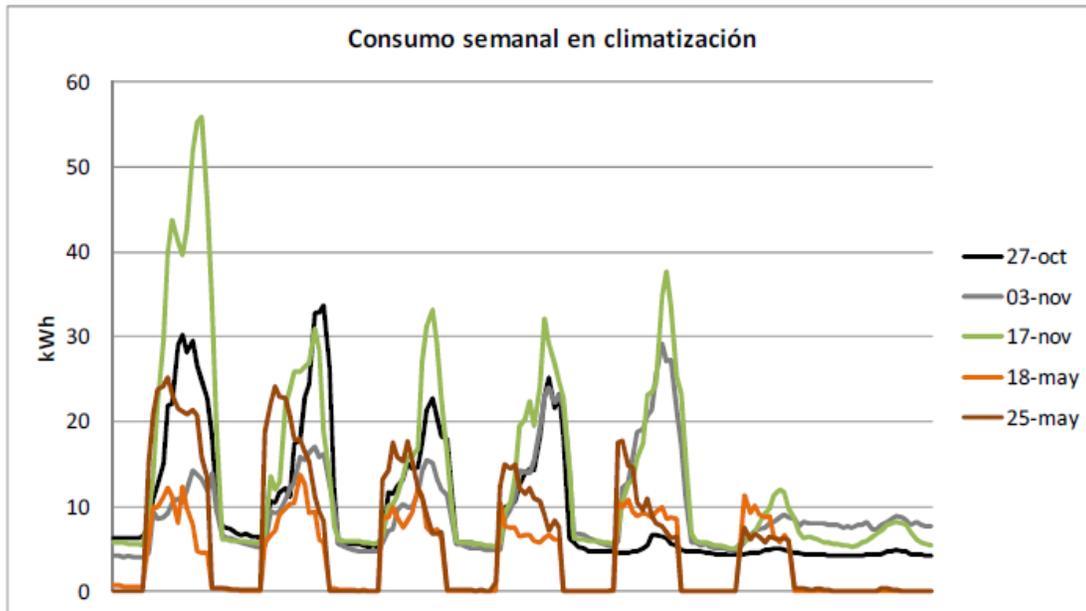


**Figura 2.12: Consumo global semana ingeniería eléctricas**

El consumo de energía oscila de acuerdo a los días de la semana de lunes a viernes tiene un comportamiento similar debido a las actividades académicas y al funcionamiento regular del edificio, en cambio los fines de semanas el consumo disminuye considerablemente como es de esperarse.

Se aprecia que en las semanas de mayo 2015 el consumo de fondo (destacado en círculos rojos) disminuye en torno a los 10 KW en comparación a las semanas de 2014.

Esto se debe principalmente a la disminución del consumo de clima, en la siguiente figura se muestra la evolución del consumo de clima.



**Figura 2.13: Consumo clima ingeniería eléctrica**

Se aprecia que debido al cierre del circuito de clima el consumo disminuye a 0 durante el horario nocturno, implicando una merma de 7 KW en la demanda de potencia.

El resto de la disminución del consumo total se debe a una baja en la demanda de iluminación nocturna. El conjunto de medidas implica una disminución de 25 MWh al año, equivalente al 4% del consumo de Ingeniería Eléctrica.

## **2.3 Gestión Energética en Campus Internacionales**

En esta sección se da a conocer como universidades destacadas a nivel internacional realizan el manejo del recurso energético.

### **2.3.1 Universidad California Berkeley**

La universidad de California Berkeley (UC Berkeley) es la institución pública número 1 en el mundo de acuerdo al ranking ARWU; cuenta con un total de 37.581 estudiantes, de los cuales 27.126 corresponden a pregrado y 10.455 a postgrados. UC Berkeley cuenta con más de 170 programas de estudios distribuidos en 14 Colleges y Scholls, estos son los siguientes:

- College of Chemistry
- College of Engineering
- College of Enviromental Desing
- College of Letters and Science
- College of Natural Resources
- Graduate School of Education
- Graduate School of Journalism
- Hass School of Businees
- Goldman School of Public Policy
- School of Information
- School of Law
- School of Optometry
- School of Public Health
- School of Social Welfare

Las temáticas de sustentabilidad en UC Berkeley son desarrollados por la Oficina de Sustentabilidad y Equipo Energía (Office of Sustainability and Energy Team); esta oficina implementa iniciativas de agua, residuos, cambio climático, transporte, construcción, alimentación, uso del terreno, energía, curriculum académico e investigación.

Específicamente en eficiencia energética se desarrolla la iniciativa Energy Managament Initiative (EMI) desde abril del 2012, en noviembre de 2013 este programa llego a la lograr 2 millones de dólares en ahorros, manteniéndose dentro su presupuesto. [5]

A continuación se muestran los principales logros de la iniciativa EMI, de acuerdo, al EMI Anual Report, noviembre 2013.

Bajo el desarrollo de EMI se crea la Energy Office; cuyas funciones son identificar, monitorear y asistir al campus en medidas de reducción del consumo eléctrico, en los edificios de la universidad. La Energy Office está compuesta por un administrador de la energía, un analista de la energía, un electricista y 3 ingenieros.

Algunas de las actividades desarrolladas por la Energy Office son las siguientes:

- Auditorías energéticas
- Instalación de variadores de frecuencia (equipos electrónicos que mejoran el desempeño de motores)
- Reparación de economizadores (intercambiadores de calor, ocupados para aumentar eficiencia de procesos térmicos)
- Instalación de contactores (equipos que cortan energía a ciertas horas, por ejemplo al aire acondicionado de oficinas durante la noche)

La oficina también trabaja implementando mejoras a los sistemas de agua caliente, iluminación, y HVAC (sigla en inglés para calefacción, ventilación y aire acondicionado) de los edificios.

La Energy Office administra el Energy Incentive Program, programa que entrega incentivos financieros a las Operating Units (OU, similares a los departamentos de la FCFM) que logren un mejor desempeño del consumo eléctrico. La Energy Office entrega reportes mensuales a las OU sobre sus consumos con respecto a la línea base definida, usualmente el consumo del año 2011. En 2013 las OU que recibieron mayores incentivos fueron las Research Units y el College of Engineering.

Durante el año 2013 se procedió a instalar tableros de monitoreo de los consumos de más de 100 edificios de la UC Berkeley, la información de estos puede ser consultada por cualquier persona en la página web de la universidad. La interfaz con la cual se muestra la información se presenta en la siguiente figura

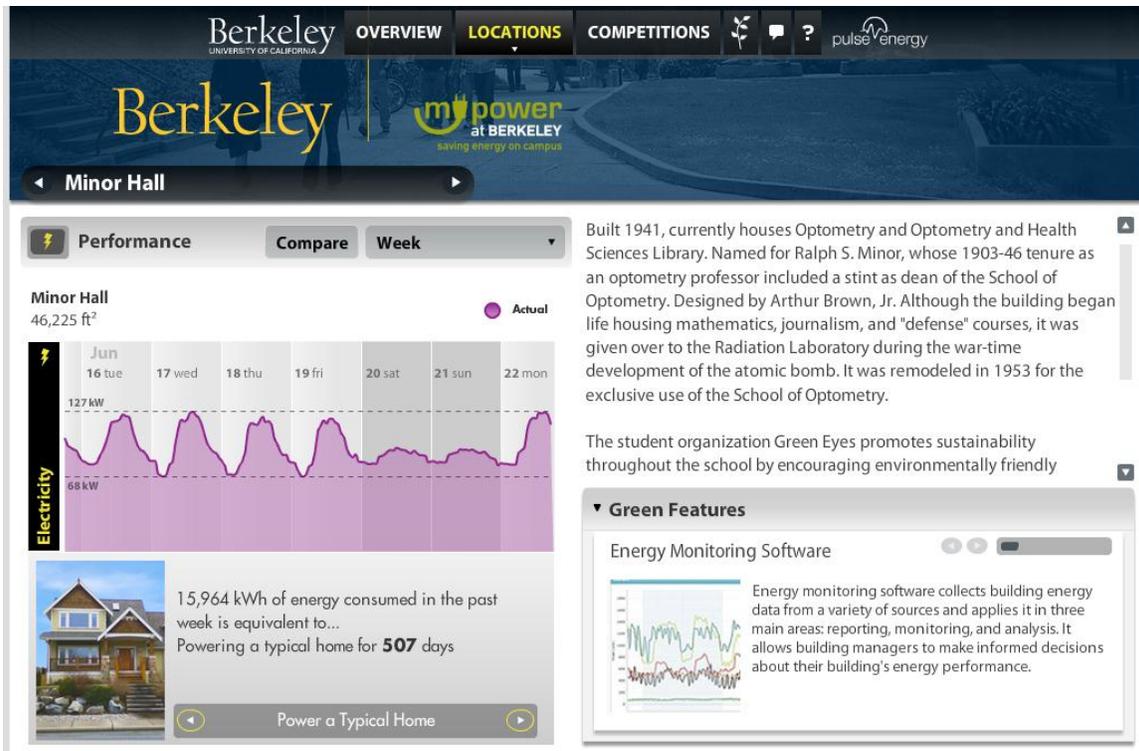


Figura 2.14: Interfaz tableros monitoreo de consumo

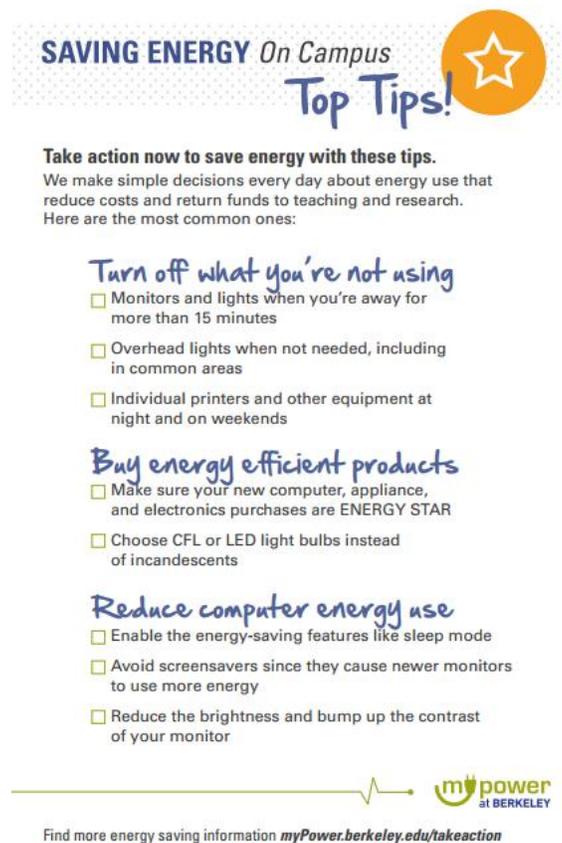
La interfaz muestra el consumo del edificio seleccionado durante un periodo de tiempo que puede ser ajustado a un día, una semana, un mes o 3 meses. Además se muestra a que es equivalente el consumo eléctrico del edificio comparado con una casa típica.

La campaña de difusión y educación de la UC Berkeley, myPower, busca que cada persona de la comunidad sea partícipe de la disminución del consumo eléctrico.

A través de varios medios myPower comunica a los integrantes de la universidad como personalmente pueden ayudar a reducir el consumo energético, algunos de estos medios son:

- Página web: [mypower.berkeley.edu](http://mypower.berkeley.edu)
- Consejos de cómo ahorrar energía enfocado a los tipos de edificios (laboratorios, oficinas residencias estudiantiles)
- Posters y stickers para llamar la atención
- Voluntarios “Power Agents” que reciben capacitaciones y apoyo para dar a conocer la campaña en sus departamentos.
- Estudios energéticos en edificios del campus, con el objetivo de conocer el comportamiento de las personas y proponer estrategias personalizadas.

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de la campaña con consejos para ahorra energía



**Figura 2.15: Consejos campaña myPower**

Los consejos apuntan a apagar los equipos en desuso, comprar equipos eficientes y reducir el consumo de los computadores.

Con tal de fortalecer el ahorro de energía se desarrolla una nueva política del uso de energía que provea de un marco de apoyo a las medidas de eficiencia energética. La política está centrada en 4 puntos:

- Calefacción, ventilación y aire acondicionado
- Iluminación
- Equipos, incluyendo computadores
- Construcción

Las diferentes medidas tomadas en el contexto de la EMI concluyeron al año 2013 con una disminución de 3 GWh de electricidad. Además se llegó a reducir las emisiones de gas al nivel del año 1990, una de las metas planteadas por la Universidad de California. [6]



Figura 2.16: Emisiones de CO<sub>2</sub> UC Berkeley

### 2.3.2 Universidad de British Columbia

La Universidad de British Columbia (UBC) es una universidad canadiense destacada entre las mejores 40 instituciones a nivel mundial.

Sus instalaciones se distribuyen en 2 campus, Vancouver y Okanagan, siendo el principal Vancouver con 52.721 estudiantes, 4864 académicos y 9.250 funcionarios; mientras que el campus Okanagan está conformado por 8392 estudiantes, 470 académicos y 606 funcionarios.

El campus Vancouver posee 1.430.000m<sup>2</sup> de superficie útil y el año 2014 se utilizaron 313 GWh de energía eléctrica para alimentar sus instalaciones con una demanda máxima de 43 MW. [7]

Las iniciativas de sustentabilidad en el campus Vancouver abarcan los siguientes temas:

- Clima y energía
- Reciclaje y residuos
- Agua
- Transporte
- Alimentación
- Sustentabilidad social y económica

Uno de los compromisos de UBC con la sustentabilidad es usar su campus como laboratorio, para esto se han invertido USD\$150 millones en 4 proyectos de gran envergadura [8], estos son:

➤ **Centre for Interactive Research on Sustainability (CIRS)**

Edificio diseñado para albergar el centro de investigación multidisciplinarios del campus Vancouver, inaugurado el año 2011 con costo de 35 millones. Cumple con altos estándares de sustentabilidad y obtuvo certificación LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) Platinum.

El proyecto se realizó en colaboración con empresas del mundo privado tales como Honeywell y BC Hydro, empresa distribuidora de energía en British Columbia. [9]

➤ **Continuos Building Optimization**

Programa de mantenimiento de 72 edificios del campus Vancouver, como resultado se espera disminuir el consumo energético de las edificaciones en un 10%. Este proyecto se realiza en conjunto con BC Hydro y Pulse Energy que facilita la interfaz de monitoreo energético, esta es la misma usada en la Universidad de California Berkeley. [10]

➤ **Bioenergy Research and Demonstration Facility**

Planta de cogeneración de biomasa con capacidad de 2 MW. En su primer año de operación produjo el 8% de la energía necesaria del campus Vancouver. [11]



**Figura 2.17: Planta biomasa UBC**

➤ **Academic District Energy System (ADES)**

El ADES consiste en un sistema de cañerías que alimentan los edificios con vapor para su uso en calefacción, este será remplazado con sistema a base de agua caliente con el cual se climatizaran 800.000 m<sup>2</sup> y requiere de una inversión de USD\$800 millones.

Una vez implementado este proyecto se ahorrara un 24% de energía y significara un ahorro de USD\$5,5 millones al año. [12]

Otras de las iniciativas sustentables de la Universidad son los SEEDS (Social Ecological Economic Development Studies), los cuales son investigaciones que se realizan en conjunto entre académicos, estudiantes y funcionarios, de esta manera se hace partícipe a toda la comunidad universitaria en el proceso de convertirse en un campus sustentable. Los proyectos SEEDS han apoyados los programas de “Zero Waste Plan”, “Climate Action Plan”, entre otros. [11].

Los primeros pasos de UBC en eficiencia energética se dieron con el programa ECOTreck, este se realizó entre los años 2001 a 2008 y contaba con iniciativas para reducir el consumo de energía y agua.

ECOTreck implementó las siguientes mejoras en el campus Vancouver

- Recambio luminarias interiores y exteriores
- Cambio de chillers a base de agua por chillers eléctricos de alta eficiencia para aire acondicionado.
- Instalación de equipos de monitoreo de electricidad, vapor y agua en edificios.
- Control automático de los equipos de calefacción, ventilación y aire acondicionado, para proveer un mejor control de la temperatura y operar solo cuando sea necesario.
- Auditorías energéticas en 288 edificios por parte de la empresa MCW Costum Energy Solutions Ltd.

Este programa contó con un presupuesto de 39 millones y conto con apoyo financiero de la empresa distribuidora BC Hydro.

Los resultados del programa al año 2008 son una reducción del consumo de energía en un 20%, agua del 40% y de 15 toneladas de CO<sub>2</sub> al año. [14]

### **2.3.3 Universidad de Queensland**

La Universidad de Queensland (UQ) se ubica en la ciudad australiana de Brisbane, está catalogada como una de las 50 mejores instituciones del mundo de acuerdo al ranking QS y forma parte del grupo G8, agrupación que integran las mejores universidades de Australia.

Las instalaciones de la universidad están distribuidas en los campus de St Lucia, Gatton y Herston, siendo el mayor St Lucia con 114 hectáreas. En su totalidad asisten 50.836 alumnos de los cuales 37 mil son de pregrado y 14 mil de postgrado.

El año 2012 el consumo de electricidad en UQ alcanzo los 142,6 MWh, el mayor gasto se produce por equipos de aire acondicionado (57%), seguido por iluminación (17%), equipos de investigación (11%), equipos de oficina (11%) y el resto de distribuye en consumos varios.

La Sustainability Office de UQ abarca iniciativas en las siguientes temáticas:

- Biodiversidad
- Riesgo ambiental
- Energía
- Reciclaje y residuos
- Transporte
- Agua

### 2.3.3.1 Energy Managment Program

Específicamente los temas energéticos están guiados por el “Energy Managment Program” (EMP), a continuación se presenta un resumen de este programa. [15]

#### Alcances

El programa está limitado a manejar el recurso energético de electricidad, otros tipos de energéticos están fuera del alcance.

#### Objetivos

- Minimizar el desperdicio de energía, al detectar áreas donde pueda ser aplicada eficiencia energética
- Definir responsabilidades y presupuestos para el manejo de energía
- Monitorear el consumo de energía
- Reportar el uso de energía, ahorros y crear una cultura de eficiencia energética en los miembros de la universidad.

#### Consumo Energético

En esta sección se dan recomendaciones de como los ocupantes de los edificios pueden ayudar a disminuir el consumo energético en la siguiente tabla se señalan las indicaciones por tipo.

**Tabla 2.4: Recomendaciones EMP UQ**

<b>Tipo</b>	<b>Recomendaciones</b>
Aire acondicionado	-Mantener cerradas puertas y ventanas cerradas en espacios climatizados. -Cuando las actividades sean canceladas avisar a los servicios correspondientes para no acondicionar salas que no se ocupen
Iluminación	-Apagar luces al salir de los recintos -Maximizar el uso de luz natural
Computación	-Apagar equipos al finalizar el día -Configurar computadores para apagar la pantalla al no ser usado por más de 10 minutos
Fotocopias e impresiones	-Preferir medios de comunicación y de archivo electrónico - Imprimir por ambos lados -Desenchufar impresoras si no están siendo usadas
Compra de equipos	-Preferir equipos con el mejor desempeño energético
Baño y cocina	-Minimizar el uso de agua caliente

### Estrategias de minimización de consumo

El primer paso para disminuir el consumo eléctrico es la medición y monitoreo por las siguientes razones:

- Entender el uso de la energía e identificar los principales consumidores
- Establecer metas razonables de reducción
- Asegurar que cada edificio funciona adecuadamente
- Medir resultados de medidas de eficiencia energética

Una medida a aplicar para disminuir el uso de energías son sistemas centralizados de edificios, especialmente en los equipos de aire acondicionado y de iluminación.

Otro punto necesario para reducir el consumo de energía es realizar auditorías energéticas, de esto se detectan áreas donde se presentan excesos de consumo de energía y plantean acciones futuras para contrarrestar los problemas encontrados.

Y por último siempre preferir las tecnologías más eficientes energéticamente.

#### **2.3.3.2 Acciones Tomadas**

En cuanto a eficiencia energética en UQ las acciones están centradas en la programación de horarios de funcionamiento de equipos de aire acondicionado, a controlar los niveles de iluminación de acuerdo a las condiciones ambientales y a recambio de luminarias halógenas por led. [16] [17]

La iniciativa más destacada de UQ es la construcción de una planta fotovoltaica de 1,22 MW, la cual el 2012 produjo un ahorro de \$220.000 y la reducción de 1700 toneladas de CO<sub>2</sub>. Esta planta ha aumentado su capacidad a 1,95 MW distribuidos en las azoteas de 4 edificios. [18]



**Figura 2.18: Planta fotovoltaica UQ**

## 2.4 ISO 50001: Sistemas de Gestión de la Energía

Las normas ISO son desarrolladas por el organismo internacional de normalización (ISO por sus siglas en inglés, International Organization for Standardization).

La norma ISO 50001 de Sistemas de Gestión de la Energía, especifica los requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión de la energía, con el objetivo de que una organización mejore continuamente su desempeño energético.

La norma ISO 50001 fue aprobada por el consejo del Instituto Nacional de Normalización (INN) de Chile en septiembre de 2011.

Implementar un sistema de gestión de la energía conlleva beneficios energéticos, ambientales, de imagen de la organización y socioeconómicos.

Un sistema de gestión de la energía se basa en el siguiente ciclo

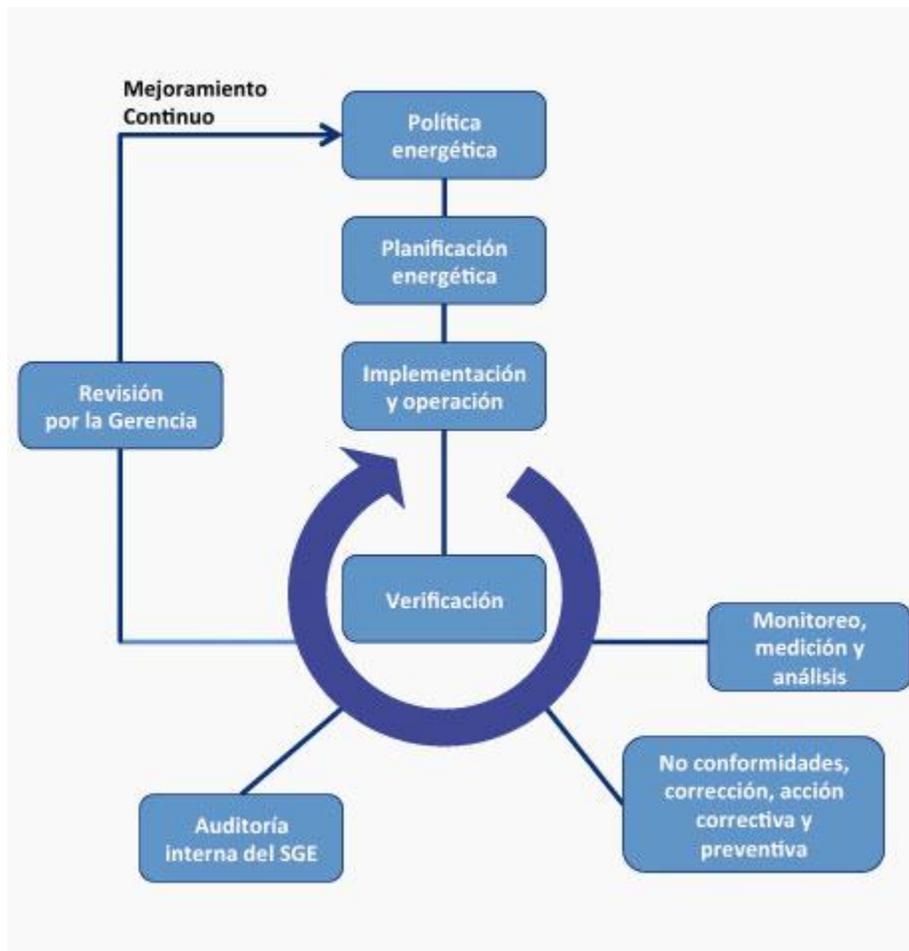


Figura 2.19: Esquema Sistemas de Gestión de la Energía

Aplicando el modelo anterior se puede aprovechar de mejor manera los recursos energéticos y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Para la implementación de un sistema de gestión de la energía, se basará en la “Guía de Implementación ISO 50001” elaborada por la Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE) [19].

Esta guía se divide en 4 puntos:

- Análisis Inicial
- Compromisos Alta Gerencia
- Requerimientos Medulares
- Requerimientos Estructurales

A continuación se presenta un resumen de la metodología planteada en la guía. [19]

#### **2.4.1 Análisis Inicial**

Es necesario realizar un análisis inicial de la situación en la que se encuentra la organización.

Para esto se realiza un levantamiento de información y un análisis brecha.

El levantamiento de información debe contener datos generales de la organización, entre los cuales está su organigrama, actividad que realiza, datos de producción.

Se incluye la información de sistemas de gestión presentes en la organización, estos pueden estar en otras normativas ISO como la ISO 9001 para Sistemas de Gestión de Calidad, ISO 14001 para Sistemas de Gestión Medioambientales, entre otros. Existen procesos comunes entre estos estándares, por lo cual resulta valioso conocer si están implementados dentro de la organización y de esta manera simplificar la elaboración del SGE.

Como último punto es relevante conocer cómo funciona la gestión energética en la institución. Para esto se establecen los siguientes datos

- “Diagrama de flujos energéticos
- Consumos de combustibles año anterior y año actual (valores mensuales y acumulado anual)
- Auditorías o estudios energéticos de las instalaciones
- Registros de balances energéticos (fuentes energéticas, usos y consumos)
- Planes de eficiencia energética
- Diagrama de puntos de medición de consumos energéticos
- Listado de equipos de medición y planes de calibración de los mismos
- Registros de medición y monitoreo año anterior y año actual (valores mensuales y acumulado anual)
- Listado de los principales equipos consumidores de energía (descripción equipo, potencia, rendimiento...)
- Metas actuales de reducción del consumo de energía.
- Procedimiento de evaluación técnico-económica de proyectos nuevos.
- Entidades externas a quienes se comunica el consumo energético y ejemplos de informes entregados.” [19]

Con la información recopilada se puede realizar un análisis de brecha. Este análisis tiene 2 actividades centrales

1. “Analizar la información documental recopilada en la etapa anterior con la finalidad de comprender la actividad de la compañía, el funcionamiento de sus procesos y activos, los flujos y el estado actual de la gestión de la energía.
2. Realizar una serie de reuniones de trabajo con las diferentes personas involucradas en la gestión de la energía (ejemplo: operación, planificación, proyectos, finanzas, medio ambiente, compras, etc.) para complementar el levantamiento, consensuar brechas y sensibilizar sobre los futuros elementos a diseñar para el SGE. Los elementos principales a trabajar son:
  - Política energética.
  - Organización para la gestión de la energía.
  - Procedimiento de seguimiento del consumo de la energía (medición, registro, control, reporte).
  - Determinación de objetivos, metas y plan de acción.
  - Comunicación externa del desempeño energético.
  - Registro y documentación.
  - Criterios de compras y adquisición, desarrollo de nuevos proyectos.
  - Plan de sensibilización y capacitación” [19]

El objetivo de este análisis es conocer que elementos ya presentes en la organización pasen a formar parte del sistema de gestión de la energía.

#### **2.4.2 Compromisos de Alta Gerencia**

Las autoridades de la institución deben comprometerse a asegurar la disponibilidad de recursos para la implementación del sistema de gestión de la energía, para esto se designa un encargado del sistema y se desarrolla una política energética. Al mismo tiempo la alta gerencia debe realizar revisiones periódicas del sistema, comprobando que se cumplen los objetivos planteados en el SGE.

Entre las responsabilidades del encargado del sistema de gestión de la energía están las siguientes:

- “Asegurar que el SGE se establece, implementa y se mejora continuamente de acuerdo con los requisitos de la ISO 50001.
- Identificar a las personas, con la autorización de la gerencia, para trabajar con él en el apoyo a las actividades de gestión de la energía.
- Informar sobre el desempeño energético del SGE a la alta gerencia.
- Asegurar que la planificación de las actividades de gestión de la energía se desarrolla para apoyar la política energética de la organización.
- Definir y comunicar responsabilidades y autoridades con el fin de facilitar la gestión eficaz de la energía.
- Determinar los criterios y métodos necesarios para asegurar que tanto la operación como el control del SGE sean eficaces.
- Promover la toma de conciencia de la política energética y de los objetivos en todos los niveles de la organización.”[19]

Se define una política energética de la organización que plantee los lineamientos generales del desempeño energético, estos deben incluir como se gasta el recurso energético, fomentar el uso de equipos eficientes y ser lo suficientemente clara para que cada integrante de la organización pueda incluirla en sus labores.

La política energética debe ser distribuida en todos los niveles de la institución y ser actualizada constantemente.

### 2.4.3 Requerimientos Medulares

El objetivo de esta etapa es comprender el contexto energético de la institución, identificar las variables que afectan al consumo de energía y enfocar los esfuerzos en estas.

Para cumplir con esta etapa se elabora una planificación energética.

La planificación energética es uno de los primeros y más importantes pasos para la elaboración de un SGE, esta debe estar en sincronía con la política energética.

La planificación energética está asociada a los siguientes puntos



Figura 2.20: Planificación Energética

Se deben identificar los requisitos legales aplicables a la organización en materia de consumo energético.

La revisión energética consiste en análisis del perfil energético de la organización, se identifican los diferentes consumos para identificar los puntos donde se concentra el mayor gasto energético.

Se define una línea base del consumo energético, se toma por ejemplo los consumos de años anteriores, esta sirve de referencia para realizar análisis sobre los efectos del SGE en la organización.

Se establecen indicadores de desempeño energético, tales como kWh/m<sup>2</sup> o kWh/integrante.

Se definen los objetivos que se buscan con la implantación del sistema de gestión de la energía y un plan de acción para llevarlos a cabo.

Otro punto a considerar en los requerimientos medulares es el control operacional, en este punto se definen planes de operación y mantenimiento de los consumos más relevantes en la organización.

Se debe establecer una metodología de medición y análisis del desempeño energético de la institución.

Por último se debe establecer que se considere buscar oportunidades de mejorar el desempeño energético en el diseño de nuevas instalaciones de la organización, lo mismo aplicable a la compra de equipos.

#### **2.4.4 Requerimientos Estructurales**

El objetivo de esta etapa es dar una estructura para la continuidad del SGE. De esta manera se cumplirán a cabalidad los compromisos y mantener un seguimiento de las actividades realizadas para mejorar el desempeño energético.

Se tienen las siguientes sub-etapas

- Competencia, Formación y Toma de Conciencia, donde se busca capacitar al personal sobre la importancia del SGE y cómo puede aportar cada uno a que la organización sea más eficiente energéticamente.

- Comunicación, se establecen mecanismos de comunicación de los avances del SGE dentro de la organización,

- Documentación y Registro, se busca mantener una adecuada documentación de las actividades realizadas, con tal de tener toda la información relativa del SGE.

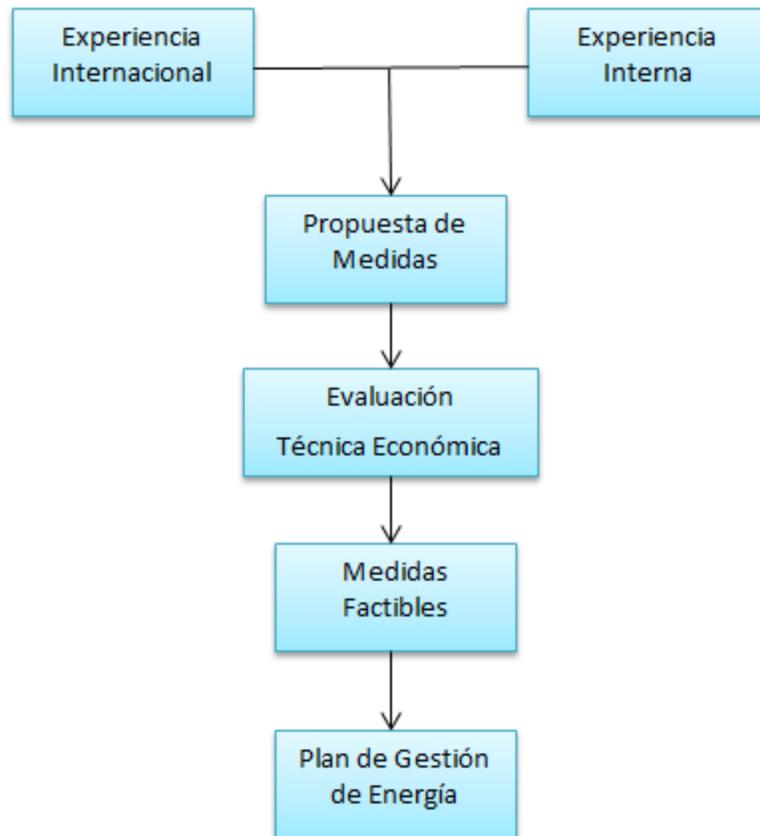
- Auditoria Interna, se define planes de auditoria con el fin de retroalimentar el proceso del SGE dentro de la organización. Se obtienen los puntos fuertes y débiles de la implementación del SGE.

- Revisión por la Alta Dirección, las autoridades de la organización deben realizar periódicamente los avances del SGE, retroalimentarse, hacer cambios en política energética y/o asignar nuevos recursos de ser necesarios

### 3 Metodología

Para el desarrollo del plan de gestión energética se plantea la siguiente metodología.

A partir de la experiencia internacional de otras universidades y la experiencia interna en la FCFM se plantean un conjunto de medidas posibles. Estas medidas serán evaluadas técnica y económicamente para determinar cuáles de estas son factibles de implementar en el campus. El conjunto de medidas factibles define el plan de gestión energético a desarrollar en la facultad.



**Figura 3.1: Metodología plan de gestión de energía**

El plan de gestión energética define las acciones y lineamientos a corto plazo con tal de mejorar el desempeño energético en la FCFM.

Entendiendo que para ser eficiente energéticamente se debe mantener un proceso continuo, el plan debe ser renovado una vez que se cumpla sus objetivos y plantear nuevas fuentes de ahorro energético.

## 4 Planificación Energética Campus Beauchef

En esta sección se desarrolla el plan de manejo energético para la FCFM, este consta de 5 partes: Monitoreo, Auto generación, Eficiencia energética, Analisis tarifario y mantención de instalaciones.

### 4.1 Monitoreo

El monitoreo de las instalaciones es el primer punto a considerar para realizar gestión energética en instalaciones cualquiera sea su tipo.

Medir la energía consumida en cada instalación y a qué hora se realiza contribuye con información esencial al momento de gestionar la energía. De esta manera se pueden priorizar los esfuerzos en los lugares de mayor consumo y tomar mejores decisiones con respecto a las medidas de eficiencia energética que se deber tomar.

En una primera etapa se instalaron equipos en el edificio de ingeniería eléctrica en los circuitos que alimentan los sistemas de iluminación, climatización y general. Estos equipos se instalaron de manera de temporal y fueron donados por la empresa Energea, con la información entregada por estos medidores fue posible determinar los efectos de las medidas de eficiencia energética implementadas como piloto en el edificio de ingeniería eléctrica.

A continuación se muestra el diagrama unilineal de la facultad y la ubicación de los equipos de monitoreo. Estos son instalados en baja tensión (220 V).

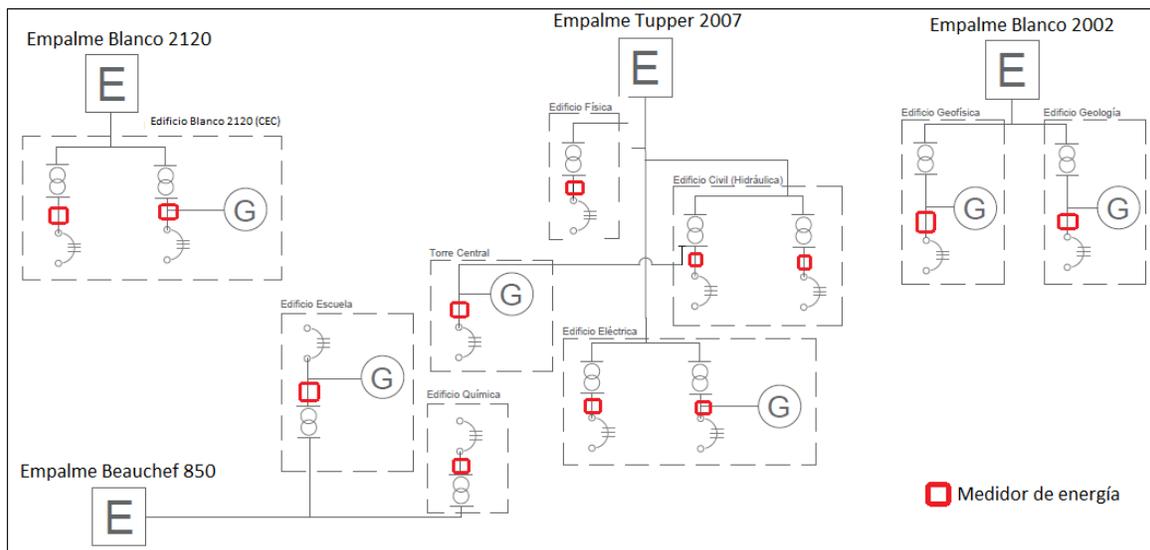


Figura 4.1: Diagrama unilineal FCFM

La cantidad de medidores se determina de acuerdo a la cantidad de interruptores generales alimentados directamente desde un transformador que posee el edificio. En la figura 4.1 se indican los equipos de medición con un cuadrado rojo.

En resumen la cantidad de medidores que se necesitan para cada edificio son los siguientes:

**Tabla 4.1: Medidores FCFM**

Edificio	Cantidad Medidores
Escuela	1
Física	1
Química	1
Torre Central	1
Ingeniería Eléctrica	2
Civil Geofísica	3
Geología	1
CEC	2
Campus	12

A un precio aproximado de \$550.000 por medidor de acuerdo a la experiencia en Ingeniería Eléctrica, el costo de implementar medidores para el campus asciende \$6,6 millones.

Una vez instalado medidores a los circuitos generales de cada edificio se puede implementar medición a consumos específicos como clima, iluminación o computación, en edificios con alto gasto energético como es el caso del CEC, como una segunda etapa.

## 4.2 Auto generación de energía eléctrica

En esta sección se evalúa el potencial de generar energía eléctrica a partir de los recursos naturales disponibles en el campus, los recursos factibles son solar fotovoltaico y eólico.

Con el paso del tiempo la participación de generación renovable aumentara debido a la política energética del país, que busca que las energías renovables sean un 70% de la matriz a 2050. Como facultad se busca ser partícipe de este proceso instalando generación renovable para abastecer sus propios consumos.

### 4.2.1 Recursos Eólico

La generación eólica ha tomado fuerza en Chile en los últimos años, a febrero de 2016 la capacidad instalada en el Sistema Interconectado Central (SIC) es de 819,9 MW equivalente al 5,1% de la matriz energética de este sistema [20].

La capacidad de generación mediante turbinas eólicas depende directamente de la velocidad del viento, la cual varía según la situación geográfica. A continuación se muestran las características geográficas del campus Beauchef.

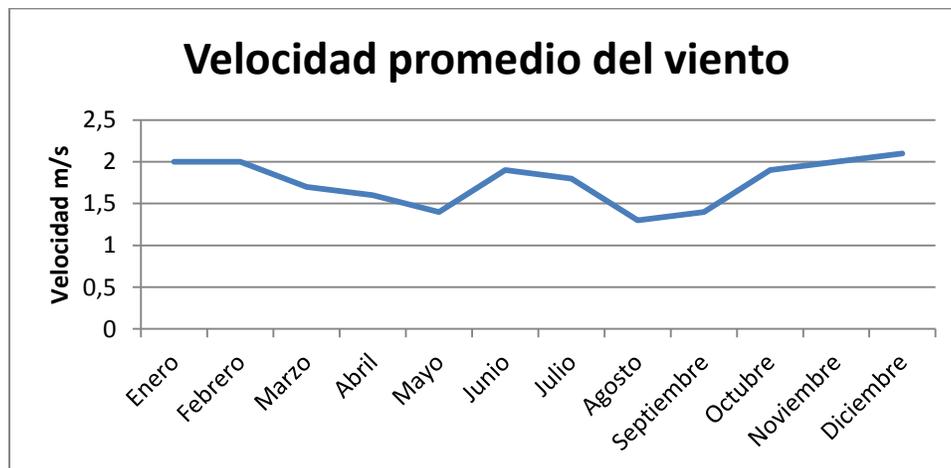
**Tabla 4.2: Características terreno beauchef**

Latitud	33,45 S
Longitud	70,66 O
Altura [msnm]	548
Densidad del aire [kg/m <sup>3</sup> ]	1,16

Con la herramienta “Explorador de energía eólica” del Ministerio de Energía y desarrollada por el Departamento de Geofísica de la FCFM se obtienen los perfiles de viento que presenta la FCFM.

Se toma como referencia una altura de 26 m, correspondiente aproximadamente a la altura de la Torre Central, el edificio más alto de la facultad y por lo tanto el con el menor obstáculos que impidan la llegada de viento.

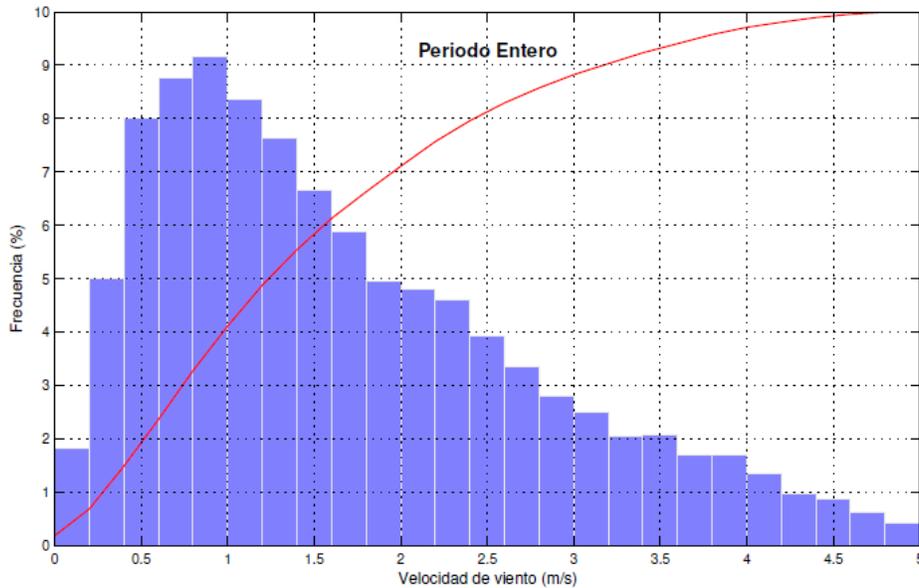
En la siguiente figura se muestra la velocidad promedio del viento a lo largo del año.



**Figura 4.2: Velocidad promedio del viento en FCFM**

La velocidad promedio varía desde 1,3 m/s en agosto hasta 2,1 m/s en diciembre.

En la figura 4.3 se muestra la frecuencia con que se da cierta velocidad de viento a lo largo del año, la línea roja representa la frecuencia acumulada.



**Figura 4.3: Frecuencia de la velocidad del viento**

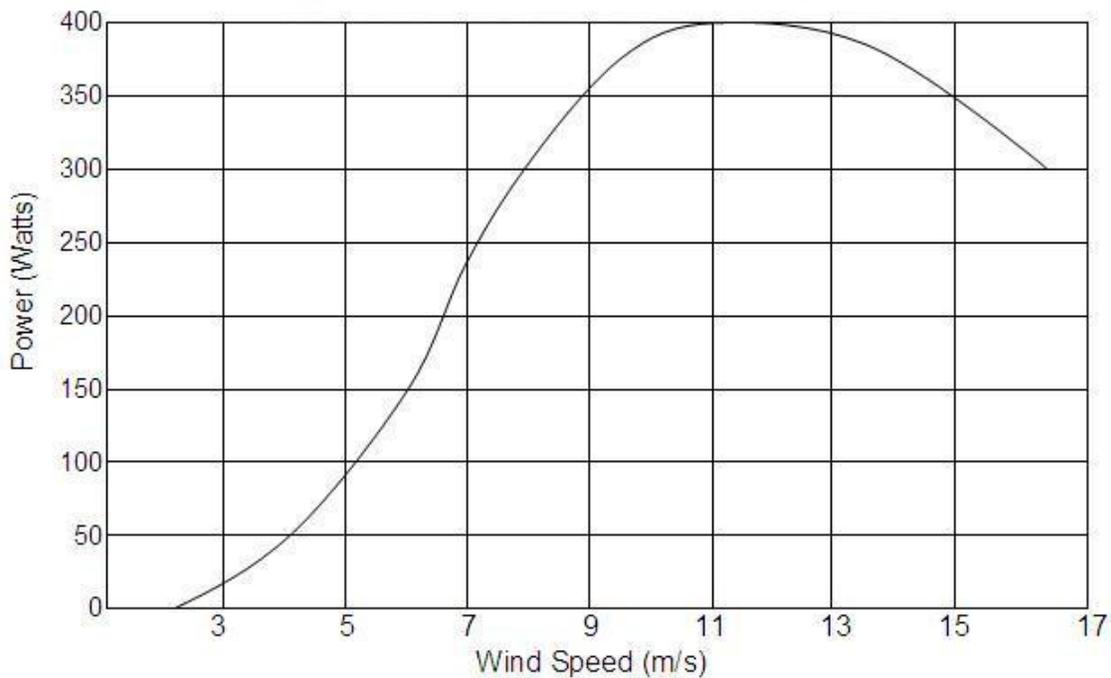
Se observa que el 70% del tiempo la velocidad del viento es menor a 2 m/s, en general la velocidad es baja a lo largo del año.

A continuación se presentan las características de un generador eólico de baja potencia, el cual podría ser instalado en 40la azotea de algún edificio si las condiciones son favorables para su funcionamiento.

**Tabla 4.3: Características generador eólico**

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Potencia	300 W
Diámetro rotor	2,2 m
Velocidad viento nominal	8 m/s
Velocidad partida	2,5 m/s
Vida útil	15 años
Peso	40 Kg

En la siguiente figura se muestra la carta de operación del generador eólico [21]



**Figura 4.4: Carta operación generador eólico**

Se observa que bajo los 4 m/s se generan menos de 50 W de potencia, de acuerdo al perfil de viento esto sucedería el 95% del tiempo. Además el 80% del tiempo la velocidad del viento es menor a 2,5 m/s por lo cual el generador estaría parado la mayor parte del año.

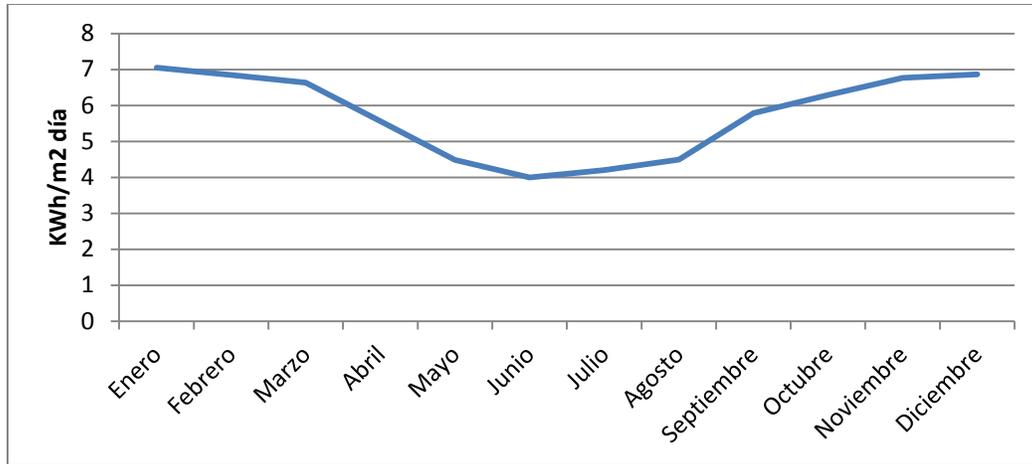
No se justifica instalar un equipo de generación eólica, dado el recurso de viento disponible en el campus el 80% del tiempo se encontraría parado y cuando genera lo haría a potencia menores a 50 W, haciendo su contribución irrelevante para el consumo en la facultad.

#### **4.2.2 Recurso Solar**

Al igual que el que las instalaciones eólicas, las instalaciones de energía fotovoltaica han aumentado considerablemente en los últimos años. A febrero de 2016 se encontraban instalados 584 MW solares, equivalentes al 3,6% de la matriz energética del SIC y a para diciembre de este año se proyecta que estén en operación 1440 MW, aumentando su participación a 8,1% de la matriz. [20]

La generación a partir de energía solar depende de la radiación que llegue al lugar de instalación de los paneles.

En la siguiente figura se muestra la radiación promedio diaria para un plano inclinado de 33° en el campus Beauchef.



**Figura 4.5: Radiación promedio diaria del campus Beauchef**

Se presenta una oscilación en los valores de radiación correspondiente con las estaciones del año, mayor radiación en verano y menor en invierno como es de esperarse.

La radiación total recibida a lo largo del año se calcula con la siguiente expresión

$$\text{Radiación Anual} = \sum_{i=\text{Ene}}^{\text{Dic}} (\text{Radiación del mes}_i * \text{Días del Mes}_i) = 2.095 \frac{\text{kwh}}{\text{m}^2}$$

Considerando una eficiencia típica de un panel fotovoltaico de un 16%, implica que por cada metro cuadrado instalado se podrían producir 335 KWh. Para mayor detalle de los cálculos referirse al anexo A.

Los principales componentes de un sistema de generación fotovoltaica son los paneles y el inversor que permite transformar la corriente continua generada a la corriente alterna usada en las instalaciones.

A continuación se muestran las características de un panel de 250 W, usado como unidad básica para una instalación fotovoltaica. [22]



**Figura 4.6: Panel fotovoltaico**

**Tabla 4.4: Especificaciones Panel**

Potencia	250 W
Eficiencia	16%
Dimensión	1,64 x 0,99 m
Área	1,62 m <sup>2</sup>
Precio	\$159.000

Dada el área del panel cada uno sería capaz de generar 545 KWh al año, de acuerdo a las condiciones de radiación de la facultad.

A continuación se muestra la relación de \$/KW de acuerdo a la capacidad del inversor a instalar. [23]

**Tabla 4.5: Relacion \$/KW de inversores**

Potencia	Precio	Relación \$/KW
15	2.750.000	183.333
12,5	2.570.000	205.600
10	2.390.000	239.000
3,6	850.000	236.111
2,6	690.000	265.385

A medida que aumenta la capacidad del inversor mejora la relación entre \$/KW instalado, por lo cual es recomendable concentrar las instalaciones en una zona con tal de mayor potencia, en vez de tener muchos paneles distribuidos en varios edificios.

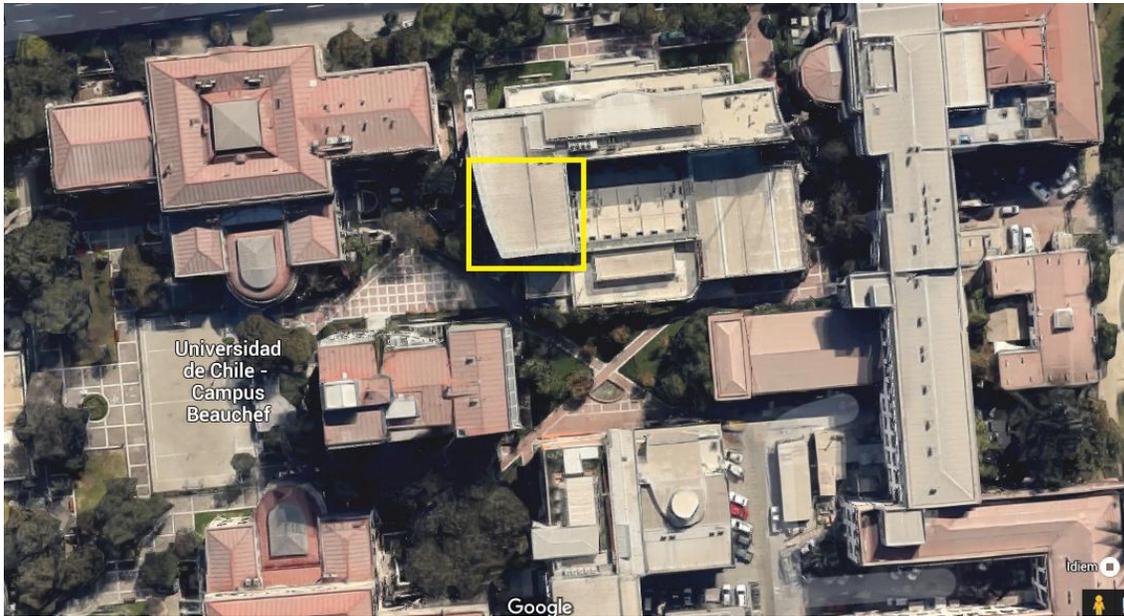
A continuación se muestra un análisis financiero de la recuperación del capital invertido en equipos para diferentes niveles de potencia instalada. Se usa un precio de energía igual 66\$/KWh.

**Tabla 4.6: Recuperación capital plantas fotovoltaicas**

Potencia	Paneles	Precio Equipos \$	Generación Anual KWh	Ahorro \$	Retorno [Años]
15	60	12.290.000	32.721	2.159.611	5,69
12,5	50	10.520.000	27.268	1.799.675	5,85
10	40	8.750.000	21.814	1.439.740	6,08
3,6	14	3.076.000	7.635	503.909	6,10
2,6	10	2.280.000	5.454	359.935	6,33

En promedio la recuperación del capital se logra a los 6 años, la inversión en varias plantas fotovoltaicas es factible.

La primera instalación fotovoltaica ya se encuentra en su proceso final de construcción en la azotea del edificio oriente de Beauchef 851 y cuenta con una potencia instalada de 15 KW. En un trabajo conjunto se evaluó el potencial solar de la azotea del edificio de Civil- Geofísica, en la cual se podrían instalar 16,5 KW. En la siguiente figura se muestra la ubicación de la planta proyectada.



**Figura 4.7: Ubicación planta solar hidráulica**

Para el resto de los edificios es necesario realizar estudios detallados de acuerdo a si los techos cumplen las condiciones necesarias para la instalación de paneles solares, estos deben poder resistir el peso extra de las instalaciones y se debe evaluar pérdidas debido a potenciales efectos sombra que disminuyan la generación de energía.

### 4.3 Eficiencia Energética

Una de las maneras de disminuir el consumo eléctrico de una organización es mediante eficiencia energética, es decir, obtener los mismos resultados pero consumiendo menos. Por ejemplo recambio de luminarias incandescentes por tipo led.

De acuerdo a la figura 2.6 en la FCFM los mayores consumos de energía se producen en climatización, computación e iluminación, por lo cual se buscan maneras de optimizar el gasto en los puntos anteriores.

#### 4.3.1 Iluminación

El consumo en iluminación corresponde al 17% del gasto en electricidad en la Facultad, en la figura a continuación se muestra el desglose por tipo de luminaria.

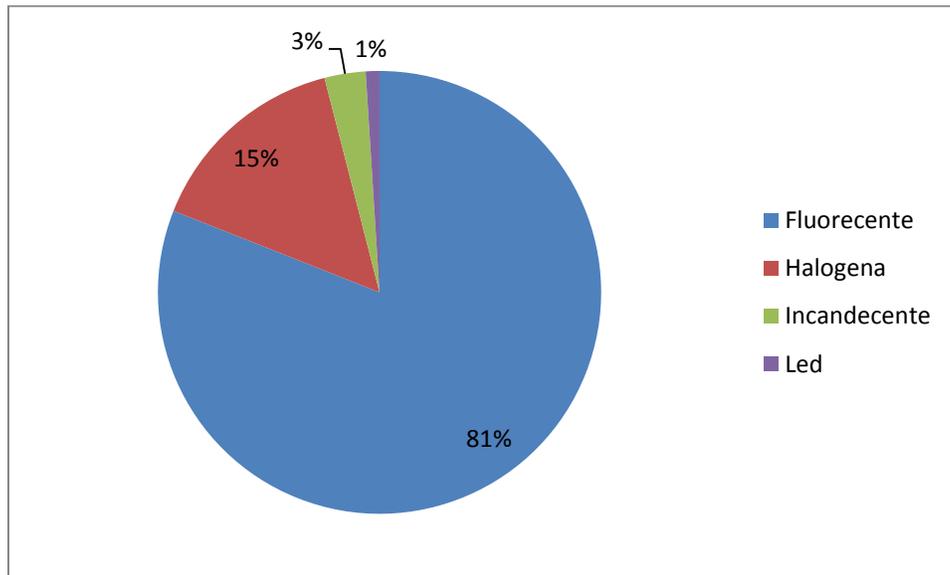


Figura 4.8: Desglose consumo iluminación

Se aprecia que el mayor gasto se presenta a las luminarias tipo fluorescente, estas son usadas para iluminar la mayor parte de las instalaciones de la FCFM, entre ellas salas de clases, oficinas y laboratorios.

Los tubos fluorescente actualmente pueden ser reemplazados por tubos led disponibles en el mercado, esto genera ahorros al disminuir la potencia instalada en iluminación. De acuerdo al inventario de equipos en el campus hay un total de 19.767 luminarias fluorescentes instaladas, de las cuales 12.063 están en un rango de potencia entre 60 W y 30 W, estas pueden ser reemplazadas por tubos led de similares características.

La mayor cantidad de tubos fluorescentes consumen una potencia de 36 W, con un total de 7229 luminarias. En la tabla 4.7 se comparan las características de un tubo led con uno fluorescente de potencia 36 W. [24][25]

**Tabla 4.7: Comparación características led - fluorescente**

<b>Característica</b>	<b>Led</b>	<b>Fluorescente</b>
Potencia [W]	20	36
Vida Útil [horas]	25000	9000
Intensidad Lumínica [lm]	1750	2300
Precio [\$]	11.000	990

Los tubos led tienen mejor desempeño en cuanto a consumen menor potencia y tienen una mayor vida útil en comparación a tubos fluorescentes, la diferencia más significativa es que tienen un precio 11 veces mayor.

Al calcular el gasto en energía por el uso de las luminarias actuales en comparación con un recambio a luminarias led, se tiene los siguientes resultados. Se considera un precio de energía igual a 67 \$/KWh correspondiente a valor de diciembre 2015.

**Tabla 4.8: Comparación gasto led - fluorescente**

<b>Tipo</b>	<b>Energía MWh</b>	<b>Gasto \$</b>
Led	173,97	11.656.043
Fluorescente	91,74	6.146.762

Al cambiar el tipo de luminarias se produce un ahorro de 82 MWh, lo que conlleva una disminución de \$5.509.281 al año.

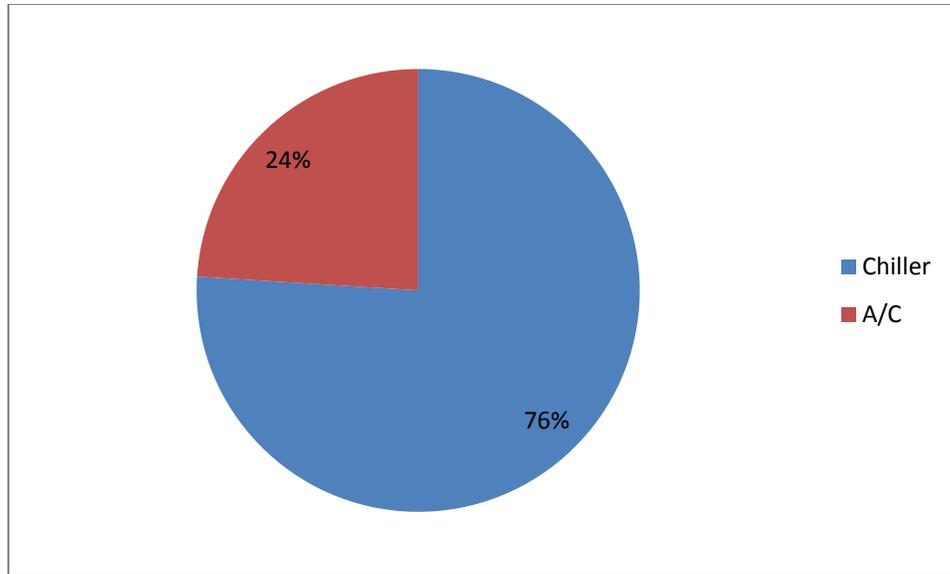
La inversión necesaria para el recambio a iluminación led es del orden de los 132 millones de pesos.

En términos monetarios no se justifica cambiar los tubos fluorescentes, la inversión se llega a recuperar luego de 24 años en comparación a mantener las luminarias actuales. Este tipo de medida puede llegar a ser factible en algunos años más cuando el precio de tubos led disminuya.

Por otro lado puede ser factible si no solo se considera el efecto económico, un MWh de energía es equivalente a 0,346 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes (tCO<sub>2</sub>eq) [26], por lo cual el cambio de luminarias implica una disminución de 28,45 tCO<sub>2</sub>eq. Dependiendo de los futuros compromisos de la Facultad con reducir su huella de carbono, esta medida podría ser instalada en el campus a pesar de su bajo desempeño económico.

#### **4.3.2 Climatización**

El gasto en climatización es el mayor consumo de la FCFM, este corresponde a un 36% del total, en la figura 4.9 se muestra el cómo se distribuye el consumo de clima.



**Figura 4.9: Desglose consumo climatización**

La mayor parte es utilizado en equipos tipos chiller, que corresponden a grandes artefactos de gran capacidad (entorno a los 175 KW) ocupados para climatizar las instalaciones del CEC, edificio escuela y civil-geofísica. En la tabla 4.9 se muestra la cantidad de chiller por edificación.

**Tabla 4.9: Chiller por edificio**

<b>Edificio</b>	<b>Cantidad Chiller</b>
CEC	3
Civil-Geofísica	2
Escuela	1

El mayor gasto se da en el CEC, en esta instalación se consumen aproximadamente 1.200 MWh en términos de climatización, esto porque en esta instalación se ubican los servidores de U-Cursos (plataforma informática de la universidad), los cuales requieren de un servicio continuo para mantener los servidores en las condiciones adecuadas para su funcionamiento. Este consumo es equivalente al 20% del total de energía gastada en el campus, dado que es un servicio indispensable para el funcionamiento de la universidad no se planifica una reducción en cuanto a la energía eléctrica necesaria para mantenerlo, se recomienda a futuro realizar una evaluación en cuanto al desempeño calórico de la instalación para encontrar posibles fuentes de ahorro energético.

Una de las medidas para disminuir el consumo en clima es la usada en edificio de ingeniería eléctrica, esta es cerrar el circuito que alimenta los aires acondicionados durante las noches, esto llevo a disminuir la carga del edificio en 5,5 KW y a un ahorro de 25 MWh al año, correspondiente al 4% del consumo de la edificación. [4]

Para implementar esta medida es necesario que esté identificando que circuito alimenta los requerimientos de clima del edificio, esto es válido para las instalaciones de Torre Central, Geología, Ingeniería Eléctrica y CEC.

Dado que el CEC requiere de ventilación constante se descarta la medida en este edificio.

El efecto de esta medida se presenta sobre el consumo de fondo, el cual se da en las horas en que el edificio está desocupado, para determinar este valor es necesario contar con equipos de monitoreo en las instalaciones. Dado que esta condición no se cumple en Torre Central ni en Geología, se estima el valor a partir de una regla de 3 relacionando la potencia instalada en clima con el consumo de fondo asociada a ella, se toma como datos base los de Ingeniería Eléctrica.

En la tabla a continuación se presentan los posibles ahorros en climatización.

**Tabla 4.10: Eficiencia energética clima**

<b>Edificio</b>	<b>Potencia Instalada Clima [KW]</b>	<b>Consumo fondo [KW]</b>	<b>Ahorro Potencial [MWh/año]</b>
Eléctrica	287	5,5	25,8
Torre Central	242	4,6	21,5
Geología	436	8,3	38,9

Al aplicar en conjunto la medida en Torre Central y Geología se produce un ahorro 60,4 MWh al año, lo que conlleva una merma de \$4.046.800 en la cuenta anual de electricidad de la facultad.

El costo de interruptores programables ronda los \$250.000, por lo cual es una inversión razonable dado los ahorros asociados a esta medida.

#### **4.3.3 Escenarios de Eficiencia Energética**

Dado el alto nivel de inversión necesario para implementar un recambio de luminarias en la facultad se analizan 5 escenarios para la instalación de estas.

Los escenarios se diferencian en el orden en que se realizan las inversiones de iluminación. Estas se separan por edificio, en la siguiente tabla se muestran los ahorro por iluminación e inversión necesaria por instalación.

**Tabla 4.11: Iluminación por edificio**

<b>Edificio</b>	<b>Cantidad Luces</b>	<b>Inversión</b>	<b>Ahorro MWh</b>	<b>Ahorro \$</b>	<b>Retorno Inversión Años</b>
Escuela	2933	32.263.000	27,09	1.815.336	17,77
Química	1218	13.398.000	6,92	463.814	28,89
Torre Central	992	10.912.000	5,65	378.487	28,83
Física	1228	13.508.000	7,39	495.109	27,28
Eléctrica	1136	12.496.000	6,80	455.726	27,42
Civil Geofísica	1228	13.508.000	7,08	474.050	28,49
Geología	949	10.439.000	6,60	442.347	23,60
Blanco	2379	26.169.000	19,79	1.325.920	19,74

Los escenarios analizados son los siguientes

- Caso 1: Toda la inversión de iluminación y clima se realiza el primer año.
- Caso 2: Anualmente se invierte en la iluminación de en un edificio, siendo el primero el que tiene menor periodo de retorno y así sucesivamente hasta terminar. La inversión en clima se realiza el primer año.
- Caso 3: Anualmente se invierte en la iluminación de en un edificio, siendo el primero el que tiene la mayor inversión y así sucesivamente hasta terminar. La inversión en clima se realiza el primer año.
- Caso 4: Solamente se invierte en clima
- Caso 5: Cada 2 años se invierte en la iluminación de en un edificio, siendo el primero el que tiene menor periodo de retorno y así sucesivamente hasta terminar. La inversión en clima se realiza el primer año.

Para el análisis se calcula el indicador VAN; con una tasa 10%, hasta el año 2030, considerando los ahorros como retorno y precio de la energía \$67.

El VAN para cada uno de los casos es el siguiente

**Tabla 4.12: VAN casos eficiencia energética**

<b>Escenario</b>	<b>VAN</b>
Caso 1	-56.164.138
Caso 2	-40.205.614
Caso 3	-40.968.757
Caso 4	25.737.737
Caso 5	-29.976.890

Se observa que en todos los escenarios donde se invierte en iluminación el VAN es negativo. Esto porque aun el precio de las luminarias led ronda los 11.000 pesos por unidad, a este valor la inversión no se cubre con los ahorros asociados. Si el precio fuese de 6500 pesos la inversión se alcanza a cubrir al 2030 con un VAN de 2.262.290 pesos. Por el momento es mejor esperar a que el precio de las luminarias led disminuya para realizar este tipo de medida.

La medida de clima se cubre y genera ahorros en el periodo de análisis, esta se recomienda aplicar dentro del corto plazo.

Para mayor detalle del cálculo del VAN referirse al anexo B.

#### 4.4 Análisis Tarifario

La Facultad de Ciencia Físicas y Matemáticas obtiene su suministro energético por medio de la empresa Chilectra a través 4 empalmes de alta tensión. Estos son los siguientes

Tabla 4.13: Empalmes FCFM

Empalme	Edificios Alimentados	Potencia Conectada KW	Tarifa	Energía 2015 MWh
Beauchef 850	Escuela Química IDIEM	840	AT 4.3	1817 (24%)
Tupper 2007	Civil-Geofísica Torre Central Eléctrica Física	450	AT3	1346 (18%)
Blanco 2002	Geología Civil-Geofísica	1250	AT 4.3	1560 (21%)
Blanco 2120	CEC	800	AT 3	2746 (37%)

El gasto en electricidad de la FCFM alcanzo los 663 millones en el 2015, el siguiente informe muestra un análisis de cuanto se podría ahorrar mediante un cambio de tarifas eléctrica.

##### 4.4.1 Opciones Tarifarias

Dado los requerimientos energéticos de la facultad se puede optar a 2 tipos de tarifas

- AT3
- AT4.3

La diferencia entre ambas tarifas es que AT4.3 diferencia los cargos entre demanda máxima y demanda máxima de horas de puntas, en cambio AT3 tiene solo un cargo por demanda máxima.

##### 4.4.1.1 Tarifa AT3

Los cargos de la tarifa se definen en el decreto N°1T/2012 del Ministerio de Energía. De acuerdo al decreto los cargos y su definición son los siguientes.

- a) Cargo fijo mensual
- b) Cargo único por uso del sistema troncal
- c) Cargo por energía
- d) Cargo por demanda máxima leída

El cargo fijo mensual es independiente del consumo y se aplicará incluso si éste es nulo.

El cargo único por concepto de uso del sistema troncal, se determinará en proporción a los consumos de energía conforme se establezca en la normativa reglamentaria correspondiente.

El cargo por energía se obtendrá multiplicando los kWh de consumo por su precio unitario.

La facturación mensual del cargo por demanda máxima leída del mes corresponderá al mayor de los siguientes valores:

- Cargo por demanda máxima leída determinada de acuerdo al procedimiento siguiente:

Se considera como demanda máxima leída de facturación del mes, la más alta que resulte de comparar la demanda máxima leída del mes con el promedio de las dos más altas demandas registradas en aquellos meses que contengan horas de punta, dentro de los últimos 12 meses, incluido el mes que se factura. El cargo por demanda máxima leída resulta de multiplicar la demanda máxima leída de facturación por el precio unitario correspondiente.

- 40% del mayor de los cargos por demanda máxima leída registrado en los últimos 12 meses.”[27]

Este tipo de tarifas distingue entre en clientes presente en punta y parcialmente presente en punta de acuerdo a su perfil de carga. La FCFM entra en la categoría de cliente presente en punta.

#### **4.4.1.2 Tarifa AT4.3**

Al igual que la tarifa AT3, la tarifa AT4.3 está definida en el decreto N°1T/2012 del Ministerio de Energía. Los cargos aplicados y su definición de acuerdo al decreto son los siguientes

- “a) Cargo fijo mensual
- b) Cargo único por uso del sistema troncal
- c) Cargo mensual por energía
- d) Cargo mensual por demanda máxima leída de potencia en horas de punta
- e) Cargo mensual por demanda máxima de potencia suministrada

El cargo fijo mensual es independiente del consumo y se aplicará incluso si éste es nulo.

El cargo único por concepto de uso del sistema troncal, se determinará en proporción a los consumos de energía conforme se establezca en la normativa reglamentaria correspondiente.

El cargo mensual por energía se obtendrá multiplicando los kWh de consumo por su precio unitario.

Los cargos mensuales por demanda máxima leída de potencia en horas de punta se facturarán de la siguiente manera:

- Durante los meses que contengan horas de punta, se aplicará a la demanda máxima en horas de punta efectivamente leída en cada mes el precio unitario correspondiente.

- Durante los meses que no contengan horas de punta se aplicará, al promedio de las dos mayores demandas máximas en horas de punta registradas durante los meses del período de punta inmediatamente anteriores, el precio unitario correspondiente.”[27]

El cargo mensual por demanda máxima de potencia suministrada de la tarifa BT4.3 se facturará aplicando, al promedio de las dos más altas demandas máximas registradas en los últimos 12 meses, incluido el mes que se facture, el precio unitario correspondiente.

#### 4.4.2 Comparación Tarifas

En la tabla 4.14 se compara el precio de los cargos entre las 2 tarifas para el mes de Enero 2015.

**Tabla 4.14: Cargos Tarifas**

<b>Cargo</b>	<b>AT3</b>	<b>AT4.3</b>
Cargo Fijo [\$/cliente]	1076,59	1179,27
Cargo Unico [\$/kwh]	0,9531	0,9531
Energía [\$/kwh]	54,088	54,088
Demanda Max [\$/kw/mes]	5800,95	1038,25
Demanda Hora Punta [\$/kw/mes]	-	4762,7

El cargo fijo, cargo único y cargo por energía son iguales entre las 2 tarifas, la gran diferencia se da en el cobro de la potencia suministrada (demanda), el cual se desacopla en 2 términos en la tarifa AT 4.3, esto permite en general pagar un cargo menor cuando la potencia máxima demanda se presenta fuera de las horas de punta, debido a la formulación de los cargos, del decreto N°1T/2012 se tienen las siguientes formulas

$$\text{Demanda Max AT3} = \text{FNPPA} * \text{PPAT} * \text{Pp} + \text{FDPPA} * \text{CDAT}$$

$$\text{Demanda Max AT 4.3} = \text{FDFPA} * \text{CDAT}$$

$$\text{Demanda Hora Punta AT 4.3} = \text{FNPPA} * \text{PPAT} * \text{Pp} + \text{FDPPA} * \text{CDAT} - \text{FDFPA} * \text{CDAT}$$

Con:

- FNPPA: Factor de coincidencia en alta tensión de las demandas presentes en la punta del sistema.
- PPAT: Factor de expansión de pérdidas de potencia en alta tensión, en horas de punta del sistema eléctrico
- Pp: Precio de nudo de potencia en nivel de distribución
- FDPPA: Factor de coincidencia en alta tensión de las demandas presentes en la punta del sistema de distribución
- CDAT: Costo de distribución en alta tensión
- FDFPA: Factor de coincidencia en alta tensión de las demandas consumidas fuera de las horas de punta

Al sumar los términos de potencia de la tarifa AT 4.3 se obtiene exactamente el término de potencia de la tarifa AT3.

$$D_{MaxAT3} = D_{maxAT4.3} + D_{HPAT4.3}$$

Asumiendo una potencia máxima  $P_{max}$  y una potencia máxima de horas de punta  $P_{maxHP} = FP * P_{max}$ , con  $FP =$  factor de punta menor que 1, se tienen los siguientes cargos por potencia

$$\text{Cargo AT3} = P_{max} * D_{MaxAT3}$$

$$\begin{aligned} \text{Cargo AT4.3} &= P_{max} * D_{maxAT4.3} + P_{maxHP} * D_{HPAT4.3} \\ &= P_{max} * (D_{maxAT4.3} + FP * D_{HPAT4.3}) \end{aligned}$$

Dado que  $FP < 1$  para todo caso el cargo por AT4.3 es menor que el cargo de AT3. En el caso contrario, es decir,  $FP \geq 1$  el cargo por potencia es igual entre ambas tarifas, por lo cual siempre será más conveniente facturar por tarifa AT4.3.

#### 4.4.3 Caso FCFM

En la FCFM se tienen 2 empalmes a los cuales se les aplica tarifa AT4.3, estos son Blanco 2002 y Beauchef 850, en los siguientes gráficos se muestra las diferencia entre la potencia facturada a las horas de punta y fuera de punta para los meses del año 2015.

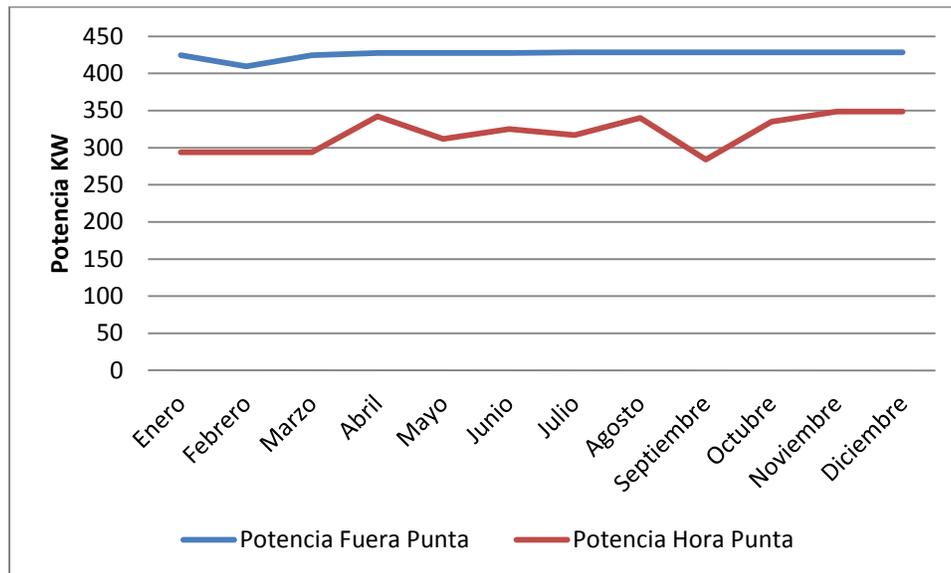
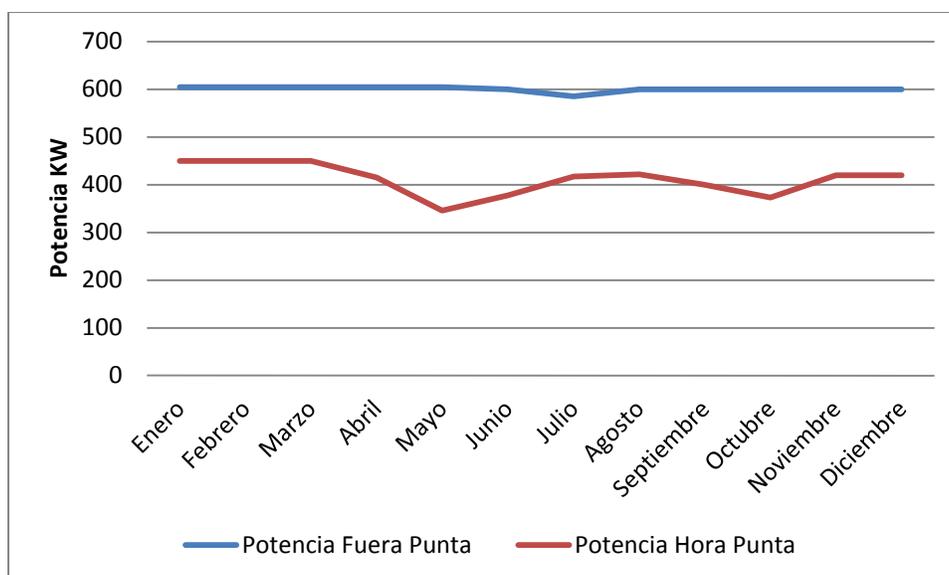


Figura 4.10: Potencia Facturada Blanco 2002



**Figura 4.11: Potencia Facturada Beauchef 850**

Efectivamente la potencia de horas de punta es menor en todos los meses del año, siendo en promedio un 70% de la potencia máxima, la cual se registra en horas fuera de punta. Asumiendo que los otros 2 empalmes tiene un comportamiento similar se hace cálculo de cuanto se podría ahorrar al realizar un cambio de tarifas, usando los datos de consumo del año 2015.

En las siguientes tablas se muestra la comparación monetaria entre las 2 tarifas para los 4 empalmes de los cuales se alimenta la facultad.

**Tabla 4.15: Tarifas Beauchef 850**

Beauchef 850			
Mes	AT3	AT4.3	Diferencia
Enero	11.915.344	11.054.570	860.775
Febrero	14.018.797	13.158.249	860.547
Marzo	11.069.574	10.209.943	859.631
Abril	14.576.789	13.526.363	1.050.427
Mayo	14.194.083	12.756.797	1.437.287
Junio	13.757.762	12.525.572	1.232.191
Julio	16.631.654	15.659.450	972.204
Agosto	18.265.962	17.234.370	1.031.592
Septiembre	15.557.344	14.400.000	1.157.344
Octubre	13.835.912	12.519.486	1.316.426
Noviembre	15.027.874	13.980.898	1.046.976
Diciembre	13.950.169	12.903.910	1.046.259
Total	172.801.265	159.929.607	12.871.658

**Tabla 4.16: Tarifas Tupper 2007**

Tupper 2007			
Mes	AT3	AT4.3	Diferencia
Enero	9.806.203	8.984.029	822.174
Febrero	10.963.200	10.141.244	821.957
Marzo	8.055.628	7.234.547	821.081
Abril	11.510.504	10.689.214	821.290
Mayo	11.078.887	10.255.776	823.111
Junio	10.697.763	9.874.207	823.557
Julio	12.117.111	11.273.391	843.720
Agosto	13.221.135	12.384.001	837.134
Septiembre	11.242.885	10.407.024	835.861
Octubre	10.830.464	9.993.051	837.413
Noviembre	11.253.821	10.415.972	837.849
Diciembre	10.648.783	9.811.508	837.275
Total	131.426.384	121.463.964	9.962.420

**Tabla 4.17: Tarifas Blanco 2120**

<b>Blanco 2120</b>			
Mes	AT3	AT4.3	Diferencia
Enero	19.884.196	18.995.373	888.823
Febrero	19.429.869	18.541.281	888.588
Marzo	17.893.817	17.006.175	887.642
Abril	20.596.172	19.708.305	887.867
Mayo	19.074.252	18.184.417	889.836
Junio	18.445.050	17.554.732	890.318
Julio	18.678.594	17.799.281	879.314
Agosto	21.192.838	20.312.233	880.604
Septiembre	18.205.608	17.343.704	861.904
Octubre	19.518.101	18.659.815	858.286
Noviembre	17.555.778	16.697.045	858.732
Diciembre	18.625.297	17.767.153	858.144
Total	229.099.571	218.569.514	10.530.057

**Tabla 4.18: Tarifas Blanco 2002**

<b>Blanco 2002</b>			
Mes	AT3	AT4.3	Diferencia
Enero	12.144.328	11.419.628	724.700
Febrero	11.769.444	11.128.225	641.219
Marzo	11.907.720	11.183.983	723.737
Abril	12.902.457	12.429.866	472.591
Mayo	12.876.531	12.234.417	642.115
Junio	11.582.597	11.012.455	570.142
Julio	14.044.177	13.398.971	645.206
Agosto	13.831.994	13.319.151	512.843
Septiembre	12.519.608	11.683.458	836.150
Octubre	11.696.365	11.154.845	541.521
Noviembre	12.382.674	11.918.702	463.972
Diciembre	12.790.409	12.326.756	463.653
Total	150.448.306	143.210.457	7.237.849

Para el empalme Tupper 2007 un cambio de tarifas implica un ahorro de casi 10 millones de pesos anuales y en el empalme Blanco 2120 el ahorro corresponde a 10,5 millones anuales. Al cambiar las tarifas de estos 2 empalmes facturados mediante AT3 a AT 4.3 representa un ahorro de 20,5 millones en el año 2015, esta situación se repite para los años 2014 y 2013, en los cuales el ahorro es de 18,5 y 16,6 millones, respectivamente.

Así mismo se muestra que facturar con AT3 en los empalmes de Beauchef 850 y Blanco 2002 es más caro en comparación a su tarifa actual AT 4.3.

En términos porcentuales el cambio de tarifa implica una reducción del 3% del dinero gastado en electricidad, por lo cual es efectiva esta medida en términos monetarios.

El ahorro realizado con el cambio de tarifas podría ser ocupado para implementar nuevos programas que mejoren el desempeño energético de la FCFM.

Para mayor detalle de los cálculos tarifarios referirse al Anexo C.

#### **4.5 Mantenimiento Instalaciones Eléctricas**

El año 2015 la Oficina de Sustentabilidad tuvo la iniciativa de diagramar los planos unilineales de la FCFM, desde la alimentación en alta tensión por parte de Chilectra hasta la primera derivación desde los interruptores generales. Durante el desarrollo de esta tarea se visitaron las instalaciones eléctricas en cada uno de los edificios del campus, esto permite realizar un diagnóstico del estado de los tableros de distribución y transformadores. A continuación se expone la evaluación por edificio.

#### 4.5.1 Edificio Escuela

Las instalaciones del Edificio Escuela se encuentran en una sala cerrada al público general en el piso -1, aproximadamente debajo del pasillo que conecta la Biblioteca Central con el Hall Sur. Dentro de la sala llega la toma en alta tensión (13,2 kV) y esta es bajada en un transformador con capacidad de 750 KVA, este a su vez se conecta al interruptor principal de 1250 A y de este se deriva a 3 barras de distribución, una por barra, que alimentan los diversos consumos del edificio. Además se encuentra un grupo electrógeno de capacidad 150 KVA como respaldo.

En las figuras a continuación se aprecia una vista desde la entrada a la sala de equipos del Edificio Escuela y del gabinete principal de distribución.



Figura 4.12: Vista subestacion escuela



Figura 4.13: Tablero general escuela

Durante la inspección de las instalaciones se encontraron algunas irregularidades tales como: dentro de la sala se almacenan puertas de madera lo cual viola el artículo 5.1.2 de la norma NSEG 20 E.p. 78 ELECTRICIDAD: Subestaciones transformadores interiores [28], la cual regula las condiciones de seguridad para construir, operar, operar y mantener subestaciones que alimenten instalaciones interiores; además se presenta un gran desorden y acumulación de polvo en los conductores desde las barras de distribución a los circuitos alimentados y varios interruptores no identifican los consumos que alimentan.

La sala de equipos es contigua a un almacén de la Biblioteca Central con un gran volumen de textos antiguos, dada la cercanía a materiales inflamables la prioridad de mantención es alta, para evitar posibles accidentes.

#### 4.5.2 Edificio Química

Las instalaciones del Edificio Química se ubican el piso -1, en una sala al costado sur del edificio, la cual da hacia Avenida Tupper. La alimentación llega en baja tensión a un interruptor general de capacidad 630 A, este deriva a 3 barras de distribución las cuales alimentan 17 interruptores secundarios conectados a los consumos del edificio.

En la figura 4.14 se observa el tablero general y en la figura 4.15 su interior.



Figura 4.14: Tablero química



Figura 4.15: Interior tablero química

Se observa un descuido tanto del tablero como del cableado al interior de este. La puerta del tablero no cierra y se encuentra con signos de corrosión lo cual viola el artículo 6.2.1.2 de la norma “NCH4 EL4/2003 Electricidad. Instalaciones de baja tensión” [29]; las barras de llegada al interruptor no tienen ningún tipo de protección que impida el contacto con ellas, además el cableado presenta una gran cantidad de polvo y desorden que dificulta su manipulación en el caso de ser necesario.

Dado el mal estado de la instalación la prioridad de mantención es alta.

### 4.5.3 Edificio Física

Las instalaciones del edificio de física se ubican en el piso -1, en el pasillo al costado este bajando por la escalera del hall principal, además el transformador se encuentra en el exterior del edificio entre física y civil-geofísica. Desde el transformador se llega a un interruptor general de capacidad 400 A, del cual derivan los consumos del edificio.

En la figura 4.16 se aprecia el transformador en las afueras del edificio y en la figura 4.17 el tablero general.



**Figura 4.16: Transformador Física**



**Figura 4.17: Tablero general física**

Las instalaciones se encuentran en perfectas condiciones, ya que el año 2014 se realizó una remodelación, en la cual se desplazó el transformador a las afueras del edificio y se renovaron los tableros y cableado.

#### 4.5.4 Torre Central

Los tableros principales de la Torre Central se ubican en el pasillo de acceso al Laboratorio de Fluidodinámica, la instalación se alimenta desde uno de los transformadores ubicados en la subestación de Civil-Geofísica. El interruptor general tiene una capacidad de 500 A y se cuenta con un grupo electrógeno de respaldo, el cual se ubica en una sala al costado de la escalera de acceso al laboratorio, el grupo es de las mismas características que el que se encuentra en el Edificio Escuela.

En la figura 4.18 se muestra el acceso al laboratorio y en la figura 4.19 el tablero general de la Torre Central.



Figura 4.18: Acceso tablero torre central

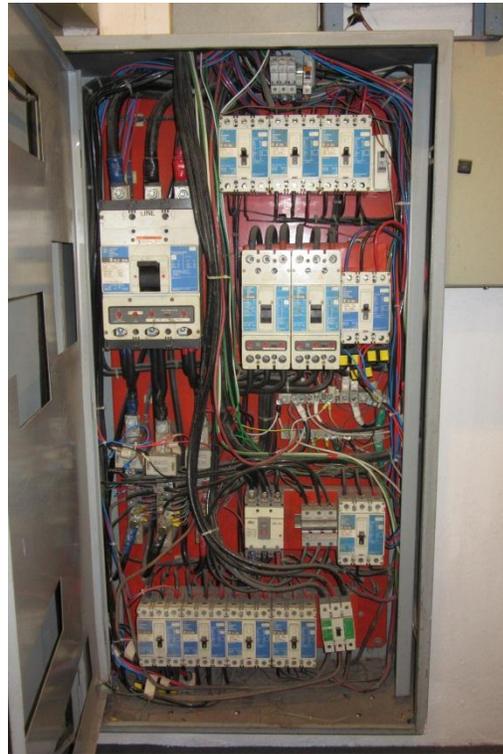


Figura 4.19: Tablero general torre central

De la figura 4.19 se aprecia un descuido en el tablero general de la Torre Central, este se encuentra colapsado con un gran desorden en sus conductores, lo cual no permite una adecuada manipulación y se observa acumulación de polvo tanto en conductores como en los interruptores.

El tablero general no se encuentra en la mejor situación posible y es recomendable realizar mantenciones para tener un orden adecuado, la prioridad de mantención es media para esta instalación.

#### 4.5.5 Edificio Ingeniería Eléctrica

Las instalaciones del edificio de Ingeniería Eléctrica se ubican en el piso -2, debajo de la cafetería “Donde la Sonia”. Las líneas de alta tensión llegan a través de canalizaciones subterráneas a la sala, desde la subestación del edificio Civil-Geofísica, se cuenta con 2 transformadores para bajar la tensión uno de 300 KVA y otro de 500 KVA, conectados a interruptores de 500 A y 800 A, respectivamente, además se encuentra un transformador en desuso y se cuenta con un generador de respaldo ubicado en el taller mecánico del edificio.

En la siguiente figura se aprecia una panorámica de las instalaciones. Al costado izquierdo los transformadores en uso, al medio el transformador en desuso (color azul), al costado derecho y al fondo los tableros de distribución.



Figura 4.20: Subestacion eléctrica

La instalación en general está en buen estado, se considera recomendable realizar mantenencias ya que no todos los circuitos están identificados y se muestran signos de polvo en las conexiones más antiguas. Prioridad media de mantención.

#### 4.5.6 Edificio Civil- Geofísica

La alimentación del edificio se realiza en 2 puntos, uno localizado en la subestación hidráulica ubicado en el subterráneo al costado noroeste del edificio, allí llega uno de los empalmes de Chilectra de los cuales la Facultad se alimenta. En la subestación se tienen 2 transformadores de 500 KVA que alimentan al recinto de Civil-Geofísica, cabe destacar que de uno de estos transformadores se deriva la alimentación a la Torre Central y que las líneas de alta tensión alimentan también las instalaciones de Física y Eléctrica. El otro punto de alimentación se ubica en una sala al lado noreste del edificio, allí la electricidad llega en baja tensión desde la subestación a las afueras de Geología, los tableros están en buenas condiciones pero el recinto se ocupa al mismo tiempo como bodega, situación que se debe revertir para estar dentro de las normativas exigidas.

En las siguientes figuras se muestran los 2 lugares de alimentación del edificio Civil-Geofísica



**Figura 4.21: Tablero general hidraulica**



**Figura 4.22: Interior tablero hidraulica**



**Figura 4.23: Tableros geofisica**



**Figura 4.24: Interior tablero general geofisica**

Para las instalaciones del sector de hidráulica (figuras 4.21 y 4.22) se asigna prioridad de mantención alta dado el pobre estado del tablero y de su interior.

#### 4.5.7 Edificio Geología

Las instalaciones del edificio Geología se ubican el piso -1, en un pasillo de fácil acceso y con buena iluminación al costado oeste. La electricidad llega en baja tensión a un interruptor general de capacidad 800 A, del cual derivan los consumos del recinto. La energía se abastece desde la subestación a las afueras del edificio.

En la figura 4.25 se muestra el conjunto de tableros ubicados en el subterráneo y en la figura 4.26 el tablero general



**Figura 4.25: Tableros geología**



**Figura 4.26: Interior tablero general geología**

Las instalaciones de Geología están en óptimas condiciones, con fácil acceso a los tableros, todos sus circuitos ordenados y un lugar de fácil acceso y con buena iluminación.

#### 4.5.8 Edificio Blanco Encalada 2120 (CEC)

Las instalaciones eléctricas del CEC se ubican en una sala del subterráneo -3, en este lugar llega alta tensión por parte de Chilectra y esta es bajada en 2 transformadores de capacidad 500 KVA, cada uno conectado a un interruptor general de 800 A, además dentro de la sala se encuentra un grupo electrógeno de respaldo.

En las siguientes figuras se muestra una vista general de la subestación y uno de sus tableros de distribución.



Figura 4.27: Subestacion CEC



Figura 4.28: Tablero CEC

Como se aprecia en la figura 4.28 uno de los tableros de la instalación está en pésimas condiciones, las barras no cuentan con las protecciones necesarias, una gran acumulación de polvo y desorden en los conductores.

Dado el mal estado de uno de sus tableros y que además el CEC corresponde al mayor consumo de la facultad, se asigna una prioridad alta de mantención a estas instalaciones.

En la tabla 4.19 se resume la prioridad de mantención en las instalaciones

Tabla 4.19: Prioridad Mantención

Edificio	Prioridad Mantención
Escuela	Alta
Física	Baja
Química	Alta
Torre Central	Media
Ingeniería Eléctrica	Media
Civil Geofísica	Alta
Geología	Baja
CEC	Alta

Las mantenciones no son solo necesarias por temas de seguridad, también dificultan la instalación de equipos de monitoreo, por lo cual se consideran dentro del plan de gestión energética del campus Beauchef.

#### 4.6 Resumen Planificación Energética

Dada la diversidad de acciones posibles a tomar se recomienda tomar medidas a corto, medio y largo plazo.

Como acciones a corto plazo se tiene el cambio de tarifas de eléctricas ya que tiene un alto impacto económico, y la instalación de medidores porque aportan información de gran utilidad para implementar una mejor gestión de la energía en el campus.

A mediano plazo se considera la evaluación en detalle del potencial solar en las azoteas de la Facultad, la primera planta solar se inauguró en mayo de 2016 con una potencia instalada de 15 kW.

También se toma como acción a medio plazo la instalación de interruptores programables en los circuitos de clima, tiene un costo de \$250.000 por equipo y el ahorro anual es del orden de los 4 millones. Con los medidores podrá ser posible determinar con mayor precisión el ahorro producido con esta medida.

Como acciones de largo plazo se considera el recambio de luminarias por su alta inversión, y la mantención de instalaciones porque no tiene mayor impacto en el desempeño energético del campus.

En la siguiente tabla se resume la planificación de medidas.

**Tabla 4.20: Plazo medidas de acción**

<b>Plazo</b>	<b>Medidas</b>
Corto	Cambio Tarifas Instalación Medidores
Medio	Evaluación detalle potencial solar Instalación temporizadores circuitos de clima
Largo	Recambio de luminarias Mantención Instalaciones

## 5 Conclusiones

El ahorro energético es un tema relevante que ya está siendo considerado por el gobierno chileno al momento de generar políticas públicas, tales como el Plan de Acción de Eficiencia Energética 2020 propuesto en el mandato de Sebastián Piñera y en la actual Hoja de Ruta Energía 2050, como una política energética a largo plazo.

Como objetivo a nivel país se debe desacoplar el crecimiento del consumo de energía con el aumento del PIB, de manera que la intensidad energética disminuya.

La FCFM consume poca energía en comparación a otras universidades destacadas a nivel internacional. El 2015 el campus Beauchef consumió 7,6 GWh, en cambio la Universidad de British Columbia gastó 300 GWh solo en electricidad y la Universidad de Queensland 142 GWh el 2012. Se destaca el compromiso de estas instituciones con cultura de sustentabilidad; UBC ha invertido más de \$150 millones dólares canadienses equivalentes a 76 mil millones de pesos chilenos en proyectos de alto impacto y UQ ha instalado cerca de 2 MW en paneles fotovoltaicos en sus instalaciones. Este tipo de inversiones se recuperan a largo plazo y representan que las decisiones ya no se toman netamente por un concepto económico, sino porque son mejores desde un punto de vista medio ambiental.

La FCFM ya empezó a preocuparse de su desempeño energético. Se realizó una auditoría energética en la cual se detectaron los principales consumidores del campus y se proponen oportunidades de mejora. Las iniciativas piloto en el edificio de ingeniería eléctrica ya presentan ahorros asociados y al mirar el consumo global del campus se aprecia una disminución de la tendencia de aumento el año 2015, anteriormente el consumo energético incrementaba a tasas de 400 MWh al año, en contraste con los 200 MWh el 2015.

Se desarrolla un plan de gestión a implementar en la FCFM con tal de mejorar su desempeño energético, las conclusiones con respecto a cada materia abordada son las siguientes:

- Para comenzar con una gestión adecuada de la energía es necesario monitorear cada una de las instalaciones del campus. Para esto se requiere 12 equipos de medición con una inversión de \$6,6 millones.
- En cuanto a eficiencia energética se estiman ahorros potenciales de 140 MWh, en primera instancia, equivalentes a un \$9,2 millones anuales, pero la inversión necesaria se recupera a plazos de 20 de años, por lo tanto se recomienda implementar en etapas o esperar a que el precio de luminarias led disminuya.
- Autogeneración de energía en el campus no es factible mediante turbinas eólicas ya que el recurso de viento no es suficiente para justificar su instalación. Instalaciones en base a paneles fotovoltaicos son perfectamente factibles con los ahorros generados se recupera la inversión de los equipos en plazos de 6 años para rangos de potencia instalada entre 2 y 15 KW.
- El estudio tarifario indica claramente que un cambio de tarifa implica un ahorro de un 3% en la cuenta anual, se propone destinar los fondos obtenidos con esta medida a futuros programas de eficiencia energética.

- Se detectan varias instalaciones que requieren de una mantención para cumplir con criterios de seguridad.

Como trabajo futuro se propone lo siguiente

- Revisión anual del consumo de energía en la FCFM.
- Estudio específico de potencial solar los todos techos de la facultad, de manera de proponer un proyecto masivo que sea tramitado en un solo proceso.
- Estudios de calefacción por medio de geotermia de baja entalpia.
- Integrar a toda comunidad en el proceso de mejorar el desempeño energético del campus, de manera de instaurar una cultura sustentable en los académicos, estudiantes y funcionarios de la FCFM.

## 6 Bibliografía

- [1] Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética de la República de Chile 2014, CEPAL
- [2] Acuerdo de Producción Limpia, Campus Sustentable, Diciembre 2012
- [3] Revisión Energética y Propuestas de Mejora de Eficiencia Energética en el Campus Beauchef, +Energía, Julio 2014
- [4] Informe Final. Monitoreo del Edificio Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, Energea, Julio 2015.
- [5] Energy Management Initiative Annual Report, UC Berkeley, November 2013
- [6] Campus Sustainability Report, UC Berkeley, January 2015
- [7] Estadísticas UBC [En línea] <http://energy.ubc.ca/ubcs-story/stats-metrics> [Consulta: Marzo 2016]
- [8] Campus UBC como laboratorio sustentable [En línea] <https://sustain.ubc.ca/our-commitment/campus-living-lab> [Consulta: Marzo 2016]
- [9] CIRS UBC [En línea] <http://cirs.ubc.ca/building/building-overview> [Consulta: Marzo 2016]
- [10] Programa Building Tube Up UBC [En línea] <https://sustain.ubc.ca/campus-initiatives/climate-energy/building-tuneup> [Consulta: Marzo 2016]
- [11] Annual Sustainability Report 2013-2014, University of British Columbia
- [12] Proyecto District Energy UBC [En línea] <http://energy.ubc.ca/projects/district-energy/> [Consulta: Marzo 2016]
- [13] Programa ECOTreck UBC [En línea] <http://energy.ubc.ca/projects/energy-conservation/ecotrek/> [Consulta: Marzo 2016]
- [14] Case Study Energy +Climate Management, UBC Campus Sustainability, 2008
- [15] Energy Management Program, University of Queensland [En línea] <http://www.uq.edu.au/sustainability/docs/policiesprocedures/EnrgyPrgrm.pdf> [Consulta: Marzo 2016]
- [16] Proyectos de eficiencia energética en UQ [En línea] <http://www.uq.edu.au/sustainability/energy-efficiencies-projects> [Consulta: Marzo 2016]
- [17] Changes to UQ center lighting [En línea] <http://www.uq.edu.au/sustainability/docs/energy/ChangesUQCentreLighting.pdf> [Consulta: Marzo 2016]
- [18] Environmental Sustainability Report 2012, UQ Sustainability
- [19] Guía Implementación de Sistemas de Gestión de Energía basado en ISO 50001, Agencia Chilena de Eficiencia Energética, Diciembre 2013

- [20] Datos de matriz energética SIC [En línea] <http://www.cdec-sic.cl/informes-y-documentos/graficos-y-estadisticas/> [Consulta: Marzo 2016]
- [21] Turbina eólica 300 W [En línea] <http://www.windgenerator.cn/eproducts/119.html> [Consulta: Marzo 2016]
- [22] Panel fotovoltaico 250 W [En línea] <http://www.digishop.cl/index.php?a=1110&g2=0> Panel [Consulta: Marzo 2016]
- [23] Inversores [En línea] <http://www.digishop.cl/index.php?g=101> [Consulta: Marzo 2016]
- [24] Características tubo fluorescente [En línea] <http://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/81220X/Fluorescente-36-Watts/81220X> [Consulta: Marzo 2016]
- [25] Características tubo LED [En línea] <https://www.dled.cl/tubo-t8-120cm-blanco-neurto-sensor> [Consulta: Marzo 2016]
- [26] Huella de carbono de energía producida en el SIC [En línea] <http://huelladecarbono.minenergia.cl/emision-para-el-SIC> [Consulta: Marzo 2016]
- [27] Decreto N°1T/2012 del Ministerio de Energía
- [28] NSEG 20 E.p. 78 ELECTRICIDAD: Subestaciones transformadores interiores
- [29] NCH4 EL4/2003 Electricidad. Instalaciones de baja tensión
- [30] Documentación y Manual de Uso Explorador del Recurso Solar en Chile, Departamento de Geofísica FCFM Universidad de Chile [En línea] [http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar2/info/Documentacion\\_Explorador\\_Solar.pdf](http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar2/info/Documentacion_Explorador_Solar.pdf) [Consulta: Mayo 2016]
- [31] Arash Sayyah, Mark N. Horenstein, Malay K. Mazumder. 2014. Energy yield loss caused by dust deposition on photovoltaic panels.
- [32] Monto Mani, Rohit Pillai. 2010. Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: Research status, challenges and recommendations.

## Anexo A: Calculo Generación Solar

Los datos para simular la generación solar son extraídos del “Explorador de Energía Solar” del Ministerio de Energía y desarrollada por el Departamento de Geofísica de la FCFM.

La generación de energía solar se calcula mediante la siguiente expresión

$$G.S = Radiacion \left[ \frac{KWh}{m^2} \right] * Area[m^2] * Eficiencia[\%]$$

Para efectos de cálculo se considera un panel con las siguientes características

**Tabla A.1: Características panel calculo**

Potencia	250 W
Área	1,62 m2
Eficiencia	16%

A continuación se muestra la generación de un panel individual a lo largo del año. Dentro del valor de la radiación se incluye efecto de inclinación del panel en 33° hacia el norte y la nubosidad [30]. Usar una inclinación del orden de la latitud y con orientación contraria al hemisferio maximiza la generación en el plazo anual.

**Tabla A.2: Generación Solar**

Mes	Radiación KWh/m2 día	Días mes	Radiación mensual kWh/m2	Generación Mensual kWh
Enero	7,05	31	218,55	56,889
Febrero	6,85	28	191,8	49,926
Marzo	6,63	31	205,53	53,500
Abril	5,56	30	166,8	43,418
Mayo	4,48	31	138,88	36,151
Junio	4	30	120	31,236
Julio	4,2	31	130,2	33,891
Agosto	4,49	31	139,19	36,231
Septiembre	5,78	30	173,4	45,136
Octubre	6,29	31	194,99	50,756
Noviembre	6,77	30	203,1	52,867
Diciembre	6,86	31	212,66	55,356

Al año una unidad de 250 W puede producir 545,35 KWh en la condiciones de la facultad.

Para obtener el dato de generación de potencias mayores simplemente se multiplica por el factor correspondiente.

La acumulación de polvo afecta al desempeño de los paneles disminuyendo la generación hasta en 1% [31]. Dada la zona geográfica se recomienda limpiar los paneles cada 2 semanas [32].

## Anexo B: Escenarios Eficiencia Energética

En la siguiente tabla se muestran las inversiones y ahorros asociados a los casos de análisis de eficiencia energética.

**Tabla B.1: Datos escenarios eficiencia energetica**

Año	Caso 1		Caso 2		Caso 3		Caso 4		Caso 5	
	Inversión	Ahorro	Inversión	Ahorro	Inversión	Ahorro	Inversión	Ahorro	Inversión	Ahorro
2016	134.693.000		34.263.000		34.263.000		1.500.000		34.263.000	
2017		9.897.590	26.169.000	5.862.136	26.169.000	5.862.136		4.046.800		5.862.136
2018		9.897.590	10.439.000	7.188.056	13.508.000	7.188.056		4.046.800	26.169.000	5.862.136
2019		9.897.590	13.508.000	7.630.403	13.508.000	7.683.165		4.046.800		7.188.056
2020		9.897.590	12.496.000	8.125.513	13.398.000	8.157.215		4.046.800	10.439.000	7.188.056
2021		9.897.590	13.508.000	8.581.239	12.496.000	8.621.029		4.046.800		7.630.403
2022		9.897.590	10.912.000	9.055.289	10.439.000	9.076.755		4.046.800	13.508.000	7.630.403
2023		9.897.590	13.398.000	9.433.776	10.912.000	9.519.103		4.046.800		8.125.513
2024		9.897.590		9.897.590		9.897.590		4.046.800	12.496.000	8.125.513
2025		9.897.590		9.897.590		9.897.590		4.046.800		8.581.239
2026		9.897.590		9.897.590		9.897.590		4.046.800	13.508.000	8.581.239
2027		9.897.590		9.897.590		9.897.590		4.046.800		9.055.289
2028		9.897.590		9.897.590		9.897.590		4.046.800	10.912.000	9.055.289
2029		9.897.590		9.897.590		9.897.590		4.046.800		9.433.776
2030		9.897.590		9.897.590		9.897.590		4.046.800	13.398.000	9.433.776

A partir de los datos de la tabla anterior se calcula el VAN para cada uno de los casos.

## Anexo C: Calculo Tarifas

En este anexo se presentan los datos usados para el cálculo de los análisis tarifarios.

### Calculo Año 2013

Tabla C.1: Tarifa AT 3 año 2013

AT 3	Cargo Fijo [\$/cliente]	Cargo Unico [\$/kwh]	Energía [\$/kwh]	Potencia [\$/kw/mes]
Enero	1070,42	0,1285	48,955	5863,1
Febrero	1075,3	0,1285	48,995	5869,16
Marzo	1078,54	0,1285	48,995	5872,81
Abril	1080,35	0,1285	48,995	5875,62
Mayo	1076,79	0,9531	48,596	5859,61
Junio	1063,64	0,9531	48,596	5829,58
Julio	1064,23	0,9531	48,596	5834,97
Agosto	1068,74	0,9531	48,596	5859,56
Septiembre	1069,15	0,9531	48,596	5859,96
Octubre	1076,43	0,9531	48,596	5879,54
Noviembre	1080,58	0,9531	52,277	5834,9
Diciembre	1082,27	0,9531	53,637	5830,01

Tabla C.2: Tarifa AT 4.3 año 2013

AT 4.3	Cargo Fijo [\$/cliente]	Cargo Único [\$/kwh]	Energía [\$/kwh]	Potencia Fp [\$/kw/mes]	Potencia Hp [\$/kw/mes]
Enero	1171,46	0,1285	48,955	1055,19	4807,91
Febrero	1176,28	0,1285	48,995	1058,02	4811,14
Marzo	1179,69	0,1285	48,995	1059,72	4813,09
Abril	1181,62	0,1285	48,995	1061,03	4814,59
Mayo	1178,49	0,9531	48,596	1055,7	4804,01
Junio	1164,89	0,9531	48,596	1041,45	4787,83
Julio	1165,47	0,9531	48,596	1044,11	4790,86
Agosto	1170,64	0,9531	48,596	1055,58	4803,98
Septiembre	1171,33	0,9531	48,596	1055,77	4804,19
Octubre	1178,83	0,9531	48,596	1064,91	4814,63
Noviembre	1183,54	0,9531	52,277	1064,47	4770,43
Diciembre	1185,36	0,9531	53,637	1062,19	4767,82

**Tabla C.3: Datos consumo Beauchef 850 año 2013**

Fecha	E Activa KWh	Dda FP KW	Dda Hora Punta KW
Enero	141.716	557	426,5
Febrero	153.623	557	426,5
Marzo	93.285	557	426,5
Abril	142.526	557	393,57
Mayo	141.776	557	387
Junio	162.693	573,5	388
Julio	181.050	598,5	448
Agosto	190.735	654,5	527
Septiembre	166.677	656,5	460
Octubre	158.048	656,5	389
Noviembre	151.259	656,5	493,5
Diciembre	148.778	656,5	493,5

**Tabla C.4: Datos consumo Tupper 2007 año 2013**

Fecha	E Activa KWh	Dda FP KW	Dda HP KW
Enero	104.326	477	333,9
Febrero	116.823	477	333,9
Marzo	62.822	477	333,9
Abril	116.417	477	333,9
Mayo	118.242	477	333,9
Junio	125.415	477	333,9
Julio	142.516	470	329
Agosto	142.050	486	340,2
Septiembre	125.945	487	340,9
Octubre	121.232	486,5	340,55
Noviembre	112.160	486,5	340,55
Diciembre	116.390	486,5	340,55

**Tabla C.5: Datos consumo Blanco 2120 año 2013**

Fecha	E Activa KWh	Dda FP KW	Dda Hora Punta KW
Enero	209.738	463,5	324,45
Febrero	199.357	463,5	324,45
Marzo	176.325	463,5	324,45
Abril	211.606	484	338,8
Mayo	218.964	474	331,8
Junio	204.298	459	321,3
Julio	203.693	481	336,7
Agosto	223.944	502	351,4
Septiembre	229.157	500,5	350,35
Octubre	211.538	500,5	350,35
Noviembre	227.673	500,5	350,35
Diciembre	199.456	500,5	350,35

**Tabla C.6: Datos consumo Blanco 2002 año 2013**

Fecha	E Activa KWh	Dda FP Kw	Dda Hp KW
Enero	122.737	412,5	343
Febrero	104.603	412,5	343
Marzo	101.976	412,5	343
Abril	129.967	418	289,33
Mayo	115.137	418	262
Junio	129.592	418	264
Julio	130.658	412	323
Agosto	128.409	412	295
Septiembre	120.661	412	273
Octubre	114.707	412	300,2
Noviembre	105.850	412	309
Diciembre	117.367	425,5	309

**Tabla C.7: Facturación Beauchef 850 año 2013**

Mes	AT3	AT4.3
Enero	10.222.734	9.595.403
Febrero	10.816.697	10.188.944
Marzo	7.854.719	7.226.712
Abril	10.275.177	9.488.429
Mayo	10.289.753	9.473.228
Junio	11.405.619	10.517.406
Julio	12.464.158	11.743.235
Agosto	13.286.898	12.674.493
Septiembre	12.106.828	11.162.907
Octubre	11.692.131	10.404.319
Noviembre	11.883.224	11.105.747
Diciembre	11.950.290	11.173.238
Total	134.248.229	124.754.063

**Tabla C.8: Facturación Tupper 2007 año 2013**

Mes	AT3	AT4.3
Enero	7.918.454	7.230.543
Febrero	8.539.419	7.851.046
Marzo	5.888.445	5.199.793
Abril	8.522.562	7.833.695
Mayo	8.654.895	7.967.591
Junio	8.995.974	8.310.793
Julio	9.805.040	9.129.630
Agosto	9.887.265	9.186.946
Septiembre	9.095.331	8.393.541
Octubre	8.868.409	8.165.816
Noviembre	8.810.047	8.113.906
Diciembre	9.191.124	8.495.364
Total	104.176.965	95.878.665

**Tabla C.9: Facturación Blanco 2120 año 2013**

Mes	AT3	AT4.3
Enero	13.013.292	12.344.854
Febrero	12.514.545	11.845.657
Marzo	11.384.827	10.715.668
Abril	13.239.708	12.540.731
Mayo	13.628.001	12.945.020
Junio	12.799.623	12.140.302
Julio	12.900.490	12.209.270
Agosto	14.038.792	13.315.414
Septiembre	14.288.502	13.567.255
Octubre	13.425.304	12.702.489
Noviembre	15.040.505	14.324.327
Diciembre	13.807.325	13.091.540
Total	160.080.913	151.742.527

**Tabla C.10: Facturación Blanco 2002 año 2013**

Mes	AT3	AT4.3
Enero	8.443.961	8.109.912
Febrero	7.560.569	7.226.296
Marzo	7.433.031	7.098.622
Abril	8.841.523	8.222.131
Mayo	8.155.328	7.406.046
Junio	8.858.995	8.121.645
Julio	8.879.058	8.452.773
Agosto	8.777.758	8.215.794
Septiembre	8.394.017	7.726.336
Octubre	8.107.076	7.568.902
Noviembre	8.039.465	7.548.214
Diciembre	8.888.828	8.333.480
Total	100.379.609	94.030.153

## Calculo Año 2014

Tabla C.11: Tarifa AT3 año 2014

AT 3	Cargo Fijo [\$/cliente]	Cargo Unico [\$/kwh]	Energía [\$/kwh]	Potencia [\$/kw/mes]
Enero	1076,59	0,9531	54,088	5800,95
Febrero	1085,46	0,9531	54,088	5823,08
Marzo	1088,87	0,9531	53,876	5830,2
Abril	1092,3	0,9531	53,876	5846,29
Mayo	1092,97	0,6961	61,385	6284,22
Junio	1098,36	0,6961	61,385	6283,76
Julio	1105,18	0,6961	61,385	6296,3
Agosto	1103,97	0,6961	61,385	6290,6
Septiembre	1111,8	0,6961	61,385	6310,35
Octubre	1114,3	0,6961	61,385	6331,99
Noviembre	1120,15	0,6961	64,744	6633,32
Diciembre	1125,9	0,6961	64,744	6638,97

Tabla C.12: Tarifa AT 4.3 año 2014

AT 4.3	Cargo Fijo [\$/cliente]	Cargo Unico [\$/kwh]	Energía [\$/kwh]	Potencia Fp [\$/kw/mes]	Potencia Hp [\$/kw/mes]
Enero	1179,27	0,9531	54,088	1038,25	4762,7
Febrero	1188,73	0,9531	54,088	1048,58	4774,5
Marzo	1192,22	0,9531	53,876	1052,57	4777,63
Abril	1196,26	0,9531	53,876	1060,08	4786,21
Mayo	1197,85	0,6961	61,385	1060,09	5224,53
Junio	1203,9	0,6961	61,385	1059,69	5224,07
Julio	1211,06	0,6961	61,385	1065,54	5230,76
Agosto	1209,9	0,6961	61,385	1062,93	5227,67
Septiembre	1217,96	0,6961	61,385	1072,1	5238,25
Octubre	1220,8	0,6961	61,385	1082,2	5249,79
Noviembre	1227,57	0,6961	64,744	1092,66	5540,66
Diciembre	1234,46	0,6961	64,744	1095,3	5543,67

**Tabla C.13: Datos consumo Beauchef 850 año 2014**

Fecha	E Activa KWh	Dda FP KW	Dda HP KW
Enero	162.033	656,5	493,5
Febrero	153.096	656,5	493,5
Marzo	106.925	656,5	493,5
Abril	143.692	656,5	439,5
Mayo	135.570	656,5	345
Junio	172.531	656,5	411
Julio	183.888	661	478
Agosto	176.697	621,5	395
Septiembre	170.636	604,5	421
Octubre	150.122	604,5	417,6
Noviembre	150.324	604,5	449,5
Diciembre	133.670	604,5	449,5

**Tabla C.14: Datos consumo Tupper 2007 año 2014**

Fecha	E Activa KWh	Dda FP KW	Dda HP KW
Enero	125.577	486,5	340,55
Febrero	113.057	486,5	340,55
Marzo	70.615	486,5	340,55
Abril	109.505	486,5	340,55
Mayo	111.170	486,5	340,55
Junio	130.568	486,5	340,55
Julio	145.556	520	364
Agosto	132.224	503,5	352,45
Septiembre	127.518	493,5	345,45
Octubre	114.016	493,5	345,45
Noviembre	124.905	493,5	345,45
Diciembre	112.504	493,5	345,45

**Tabla C.15: Datos consumo Blanco 2120 año 2014**

Fecha	E Activa KWh	Dda FP KW	Dda HP KW
Enero	227.288	500,5	350,35
Febrero	189.465	500,5	350,35
Marzo	167.916	500,5	350,35
Abril	201.475	500,5	350,35
Mayo	231.340	500,5	350,35
Junio	211.342	500,5	350,35
Julio	221.909	551	385,7
Agosto	243.845	525	367,5
Septiembre	230.700	533,5	373,45
Octubre	232.418	533,5	373,45
Noviembre	274.260	533,5	373,45
Diciembre	223.335	533,5	373,45

**Tabla C.16: Datos consumo Blanco 2002 año 2014**

Fecha	E Activa KWh	Dda FP KW	Dda Hp KW
Enero	143.718	425,5	309
Febrero	111.347	429,5	309
Marzo	116.992	395,5	268
Abril	116.992	372	268
Mayo	92.195	429,5	268
Junio	127.072	429,5	294
Julio	134.301	429,5	294
Agosto	139.017	429,5	285
Septiembre	127.478	429,5	256
Octubre	125.365	429,5	290
Noviembre	141.177	429,5	294
Diciembre	125.724	417,5	294

**Tabla C.17: Facturación Beauchef 850 año 2014**

Mes	AT3	AT4.3
Enero	12.727.875	11.950.478
Febrero	12.250.510	11.471.181
Marzo	9.691.217	8.911.374
Abril	11.717.685	10.677.985
Mayo	12.543.018	10.914.747
Junio	14.837.301	13.553.694
Julio	15.578.929	14.620.595
Agosto	14.880.256	13.695.085
Septiembre	14.408.989	13.446.658
Octubre	13.148.541	12.166.241
Noviembre	13.848.180	12.988.257
Diciembre	12.761.761	11.901.367
Total	158.394.261	146.297.661

**Tabla C.18: Facturación Tupper 2007 año 2014**

Mes	AT3	AT4.3
Enero	9.735.135	9.038.942
Febrero	9.056.796	8.358.872
Marzo	6.709.238	6.010.854
Abril	8.849.373	8.149.733
Mayo	9.959.922	9.196.503
Junio	11.163.953	10.400.401
Julio	12.311.458	11.494.354
Agosto	11.377.032	10.586.289
Septiembre	11.031.727	10.255.093
Octubre	10.204.190	9.425.844
Noviembre	11.448.459	10.627.044
Diciembre	10.639.731	9.817.864
Total	122.487.013	113.361.795

**Tabla C.19: Facturación Blanco 2120 año 2014**

Mes	AT3	AT4.3
Enero	15.414.634	14.698.438
Febrero	13.343.899	12.625.922
Marzo	12.125.787	11.407.337
Abril	13.973.853	13.254.112
Mayo	17.508.187	16.722.831
Junio	16.266.464	15.480.972
Julio	17.246.721	16.380.971
Agosto	18.441.835	17.617.373
Septiembre	17.689.793	16.850.300
Octubre	17.807.996	16.966.653
Noviembre	21.487.598	20.599.695
Diciembre	18.158.081	17.269.691
Total	199.464.849	189.874.294

**Tabla C.20: Facturación Blanco 2002 año 2014**

Mes	AT3	AT4.3
Enero	10.379.778	9.823.846
Febrero	8.630.760	8.054.347
Marzo	8.721.499	8.111.262
Abril	8.590.478	8.091.620
Mayo	8.423.732	7.579.050
Junio	10.588.743	9.879.783
Julio	11.042.920	10.333.047
Agosto	11.333.245	10.576.743
Septiembre	10.625.382	9.715.433
Octubre	10.503.501	9.771.441
Noviembre	12.088.768	11.336.889
Diciembre	11.000.287	10.314.518
Total	121.929.092	113.587.979

## Calculo año 2015

Tabla C.21: Tarifa AT3 año 2015

AT 3	Cargo Fijo [\$/cliente]	Cargo Unico [\$/kwh]	Energía [\$/kwh]	Potencia [\$/kw/mes]
Enero	1116,51	0,6961	66,717	6616,7
Febrero	1109,11	0,6961	66,895	6617,28
Marzo	1101,62	0,6961	66,895	6606,19
Abril	1102,51	0,6961	66,895	6608,84
Mayo	1112,58	0,8668	66,895	6632,57
Junio	1121,12	0,8668	66,895	6637,57
Julio	1127,43	0,8668	68,639	6865,65
Agosto	1126,99	0,8668	68,639	6881,59
Septiembre	1124,97	0,8668	67,528	6875,66
Octubre	1125,5	0,8668	67,528	6895,83
Noviembre	1133,27	0,8668	67,528	6901,48
Diciembre	1136,81	0,8668	67,528	6894,05

Tabla C.22: Tarifa AT 4.3 año 2015

AT 4.3	Cargo Fijo [\$/cliente]	Cargo Unico [\$/kwh]	Energía [\$/kwh]	Potencia Fp [\$/kw/mes]	Potencia Hp [\$/kw/mes]
Enero	1224,25	0,6961	66,717	1062,62	5554,08
Febrero	1216,42	0,6961	66,895	1064,67	5552,61
Marzo	1209,06	0,6961	66,895	1059,49	5546,7
Abril	1210,35	0,6961	66,895	1060,73	5548,11
Mayo	1221,08	0,8668	66,895	1071,9	5560,78
Junio	1230,24	0,8668	66,895	1074,14	5563,43
Julio	1236,71	0,8668	68,639	1078,07	5787,58
Agosto	1236,86	0,8668	68,639	1085,51	5796,08
Septiembre	1235,31	0,8668	67,528	1088,39	5787,27
Octubre	1236,64	0,8668	67,528	1097,81	5798,02
Noviembre	1244,96	0,8668	67,528	1100,44	5801,04
Diciembre	1248,96	0,8668	67,528	1096,98	5797,07

**Tabla C.23: Datos consumo Beauchef 850 año 2015**

Fecha	E Activa KWh	Dda FP	Dda HP
Enero	117.402	604,5	449,5
Febrero	148.208	604,5	449,5
Marzo	104.674	604,5	449,5
Abril	156.539	604,5	415,15
Mayo	150.285	604,5	346
Junio	144.291	599,5	378
Julio	181.483	585	417
Agosto	203.377	600	422
Septiembre	167.130	600	400
Octubre	141.784	600	372,9333
Noviembre	159.162	600	419,5
Diciembre	143.470	600	419,5

**Tabla C.24: Datos consumo Tupper 2007 año 2015**

Fecha	E Activa KWh	Dda FP KW	Dda HP KW
Enero	97.010	493,5	345,45
Febrero	113.868	493,5	345,45
Marzo	70.932	493,5	345,45
Abril	122.027	493,5	345,45
Mayo	115.177	493,5	345,45
Junio	109.516	493,5	345,45
Julio	126.310	486	340,2
Agosto	142.528	481,5	337,05
Septiembre	115.961	481,5	337,05
Octubre	109.789	481,5	337,05
Noviembre	115.939	481,5	337,05
Diciembre	107.145	481,5	337,05

**Tabla C.25: Datos consumo Blanco 2120 año 2015**

Fecha	E Activa KWh	Dda FP KW	Dda HP KW
Enero	242.580	533,5	373,45
Febrero	235.215	533,5	373,45
Marzo	212.577	533,5	373,45
Abril	252.537	533,5	373,45
Mayo	229.254	533,5	373,45
Junio	219.929	533,5	373,45
Julio	218.687	506,5	354,55
Agosto	254.744	506,5	354,55
Septiembre	216.255	496,5	347,55
Octubre	235.601	493,5	345,45
Noviembre	206.869	493,5	345,45
Diciembre	222.560	493,5	345,45

**Tabla C.26: Datos consumo Blanco 2002 año 2015**

Fecha	E Activa KWh	Dda FP KW	Dda Hp KW
Enero	138.466	424,5	294
Febrero	134.020	409,5	294
Marzo	134.667	424,5	294
Abril	149.074	427,5	342,3
Mayo	148.166	427,5	312
Junio	129.039	427,5	325
Julio	159.715	428,5	317
Agosto	156.564	428,5	340
Septiembre	139.956	428,5	284
Octubre	127.793	428,5	335,1
Noviembre	137.792	428,5	348,5
Diciembre	143.800	428,5	348,5

No se agregan los datos de facturación para el año 2015, estos se encuentran en la sección 4.4.3.