



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELÉCTRICA

**ANÁLISIS DE BRECHAS E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA
BASADO EN ISO 50.001 EN CAMPUS UNIVERSIDAD DE CHILE**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA

PABLO IGNACIO ZAMORANO NEGRETTI

PROFESOR GUÍA:

PAUL PACHECO QUINTANILLA

MIEMBROS DE LA COMISION

RODRIGO MORENO VIEYRA

NELSON MORALES OSORIO

SANTIAGO DE CHILE

2014

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA
POR: PABLO ZAMORANO NEGRETTI
FECHA: 11/07/2014
PROF. GUÍA: PAUL J. PACHECO Q.

Resumen

En la actualidad, la preocupación por el impacto de las actividades del hombre sobre el medio ambiente ha impulsado iniciativas orientadas al desarrollo sustentable no sólo en el sector productivo, sino que también en las instituciones de educación superior. En este contexto, la Universidad de Chile se ha embarcado en una iniciativa por mejorar la eficiencia del uso y consumo energético, contribuyendo a mejorar los aspectos ligados a la sustentabilidad, a través de la ejecución del proyecto *Instalación de bases para un plan de eficiencia energética integral para el Campus Sur y Campus Beauchef de la Universidad de Chile*.

Este trabajo memoria se enmarca en la ejecución del proyecto anterior, haciéndose cargo de las tareas de:

- análisis de la condición energética actual e identificación de brechas con respecto a los requisitos expuestos en la norma ISO 50.001;
- realización de una revisión energética que sirva para caracterizar energéticamente a los campus y detectar oportunidades de mejora;
- establecimiento de una línea base de energía que pueda ser utilizada como referencia del consumo energético;
- determinación de indicadores de desempeño energético que cuantifiquen y representen el desempeño energético;
- y la proposición y evaluación de medidas de eficiencia energética que contribuyan en la mejora del uso y consumo energético.

Los resultados obtenidos permiten, en ambos campus, identificar las brechas para establecer un sistema de gestión energética (SGE), conocer y evaluar la situación energética actual, identificar las oportunidades de mejora existentes, y determinar la conveniencia de la aplicación de medidas de eficiencia energética.

Con este trabajo se espera aportar en la implementación de un SGE en el Campus Sur y Campus Beauchef de la Universidad de Chile. Se deja propuesto continuar con el trabajo en la implementación de algunas de las medidas aquí presentadas y verificar los ahorros generados.

Agradecimientos

Quisiera agradecer y dedicar este trabajo a Camila, quien siempre quiso que le dedicasen una memoria.

“Qué me estás haciendo, yo no te estoy mintiendo

no hay un detalle que a mí se me escape de tu cuerpo,

y cuando te pones a hablar, mi mente está imaginándose el momento,

el lugar”.

Los Gemidos, 1922, Pablo de Rokha.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1. MOTIVACIÓN.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	3
1.2.1. <i>Objetivo General</i>	3
1.2.2. <i>Objetivos Específicos</i>	3
1.3. HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	4
1.4. ALCANCES.....	4
1.5. ESTRUCTURA DEL TRABAJO.....	4
CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES	6
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	6
2.1.1. <i>Eficiencia Energética</i>	6
2.1.2. <i>ISO 50.001</i>	8
2.1.3. <i>Grados-día</i>	12
2.1.4. <i>Criterios de Evaluación</i>	13
2.2. CONTEXTO NACIONAL.....	16
2.2.1. <i>Eficiencia Energética en Chile</i>	16
2.2.2. <i>Actores Nacionales</i>	16
2.3. ANTECEDENTES DEL PROYECTO.....	18
2.3.1. <i>Implementación de un Plan de Mejora de Eficiencia Energética</i>	18
2.3.2. <i>Participantes del Proyecto</i>	19
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO	23
3.1. METODOLOGÍA.....	23
3.2. PLAN DE TRABAJO.....	24
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE BRECHAS	26
4.1. METODOLOGÍA.....	26
4.2. RESULTADOS.....	27
4.2.1. <i>Identificación de Brechas</i>	27
4.2.2. <i>Evaluación del Campus</i>	28
CAPÍTULO 5: REVISIÓN ENERGÉTICA	30
5.1. METODOLOGÍA.....	30
5.2. CAMPUS SUR.....	33
5.2.1. <i>Alcances</i>	33
5.2.2. <i>Balance Energético</i>	35
5.2.3. <i>Análisis de Suministro</i>	35
5.2.4. <i>Análisis de Uso Energético</i>	40
5.2.5. <i>Detección de Oportunidades de Mejora</i>	47
5.3. CAMPUS BEAUCHEF.....	54
5.3.1. <i>Alcances</i>	54
5.3.2. <i>Balance Energético</i>	55
5.3.3. <i>Análisis de Suministro</i>	56
5.3.4. <i>Análisis de Uso Energético</i>	59
5.3.5. <i>Detección de Oportunidades de Mejora</i>	66
CAPÍTULO 6: CUANTIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO ENERGÉTICO	76
6.1. FACTORES INFLUYENTES EN EL CONSUMO DE ENERGÍA.....	76
6.1.1. <i>Factores Internos</i>	76

6.1.2.	Factores Externos.....	78
6.2.	LÍNEA BASE DE ENERGÍA	80
6.3.	INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO	81
CAPÍTULO 7:	MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA	83
7.1.	METODOLOGÍA	83
7.2.	PROPUESTAS	84
7.3.	EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	87
CAPÍTULO 8:	CONCLUSIONES	89
8.1.	CONCLUSIONES DEL PROYECTO.....	89
8.1.1.	Conclusiones Campus Sur	90
8.1.2.	Conclusiones Campus Beauchef.....	90
8.2.	CONCLUSIONES TRABAJO DE TÍTULO.....	91
BIBLIOGRAFÍA		93
ANEXOS		97
A1.	ORGANIGRAMA FACULTADES DEL CAMPUS SUR	97
A2.	IDENTIFICACIÓN DE BRECHAS	100
A3.	SUMINISTRO DE ELECTRICIDAD	108
	<i>Campus Sur.....</i>	<i>108</i>
	<i>Campus Beauchef.....</i>	<i>110</i>
A4.	IDENTIFICACIÓN DE OPORTUNIDADES DE MEJORA, CAMPUS SUR.....	113
	<i>Oportunidades detectadas en el suministro</i>	<i>113</i>
	<i>Oportunidades detectadas en el Uso</i>	<i>115</i>
A5.	IDENTIFICACIÓN DE OPORTUNIDADES DE MEJORA, CAMPUS BEAUCHEF	128
	<i>Oportunidades detectadas en el suministro</i>	<i>128</i>
	<i>Oportunidades detectadas en el uso.....</i>	<i>132</i>
A6.	ÍNDICES DE DESEMPEÑO INSTITUCIONAL	164
	<i>Campus Sur.....</i>	<i>164</i>
	<i>Campus Beauchef.....</i>	<i>164</i>
A7.	MODELO GRADOS-DÍA	165
A8.	MODELO DE CONSUMO ENERGÉTICO.....	167
A9.	CÁLCULO DE EVALUACIÓN ECONÓMICA DE PROPUESTAS	171

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Datos de Facturación de Electricidad y Gas año 2012, Campus Sur.	36
Gráfico 2 Facturación de Energéticos por Facultad, año 2012.....	36
Gráfico 3 Valor promedio de la energía de acuerdo al tipo de suministro durante el año 2012.	37
Gráfico 4 Suministro de electricidad anual en el Campus, entre el 2010 y el 2013.	38
Gráfico 5 Facturación anual por electricidad en los empalmes Antumapu y Veterinaria.	38
Gráfico 6 Destino del suministro de gas por facultad, año 2012.	39
Gráfico 7 Suministro mensual de gas durante el 2012.....	39
Gráfico 8 Edificios con mayor consumo energético, Campus Sur.	40
Gráfico 9 Distribución de consumo por tipo de artefacto, Campus Sur.	41
Gráfico 10 Consumo energético por tipo de artefacto, Campus.....	41
Gráfico 11 Consumo energético por edificio, Agronomía.	42
Gráfico 12 Distribución del consumo energético por tipo de artefacto, Agronomía.	43
Gráfico 13 Consumo energético y costo estimado del consumo por tipo de artefacto, Agronomía.	43
Gráfico 14 Consumo de energía por recinto, Veterinaria.	44
Gráfico 15 Distribución del consumo energético en Veterinaria.	44
Gráfico 16 Consumo y costo energético estimado según Artefacto, Veterinaria.	45
Gráfico 17 Consumo de energía por edificio, Forestal.	45
Gráfico 18 Distribución del consumo energético en Forestal.	46
Gráfico 19 Consumo y costo energético estimado según Artefacto, Forestal.	46
Gráfico 20 Energía suministrada al Campus Beauchef durante el año 2013.....	56
Gráfico 21 Costo del suministro promedio para el año 2013.....	57
Gráfico 22 Suministro eléctrico histórico agregado y variación del consumo con respecto al año 2003.	58
Gráfico 23 Histórico mensual de suministro y costo del suministro de gas.	59
Gráfico 24 Distribución general de uso de energía por tipo de artefacto.	60
Gráfico 25 Costos estimados por consumo energético y cantidad de artefactos en Campus.	60
Gráfico 26 Uso energético anual por zona.	61
Gráfico 27 Uso anual de energía por tipo de artefacto en Zona 1.	62
Gráfico 28 Uso anual de energía por tipo de artefacto en Zona 2.	62
Gráfico 29 Uso anual de energía por tipo de artefacto en Zona 3.	63
Gráfico 30 Uso anual de energía por tipo de artefacto en Zona 4.	63
Gráfico 31 Uso anual de energía por tipo de artefacto en Zona 5.	64
Gráfico 32 Uso anual de energía por tipo de artefacto en Zona 6.	64
Gráfico 33 Uso anual de energía por tipo de artefacto, Zona 7.	65
Gráfico 34 Uso anual de energía por tipo de artefacto en Zona 8.	65
Gráfico 35 Costo del suministro empalme Antumapu. Izquierda: costo de facturación anual. Derecha: distribución promedio del costo de facturación.	108
Gráfico 36 Costo del suministro empalme Veterinaria. Izquierda: costo de facturación anual. Derecha: distribución promedio del costo de facturación.	109
Gráfico 37 Costo suministro eléctrico cliente 177946-K. Izquierda: costo histórico de suministro según cargo. Derecha: costo de suministro promedio por cargo.....	110
Gráfico 38 Costo suministro eléctrico cliente 177949-4. Izquierda: costo histórico de suministro según cargo. Derecha: costo de suministro promedio por cargo.....	111
Gráfico 39 Costo suministro eléctrico cliente 177950-8. Izquierda: costo histórico de suministro según cargo. Derecha: costo de suministro promedio por cargo.....	111
Gráfico 40 Costo suministro eléctrico cliente 2556131-7. Izquierda: costo histórico de suministro según cargo. Derecha: costo de suministro promedio por cargo.....	112
Gráfico 43 Simulación Tarifa Eléctrica para Antumapu.....	113
Gráfico 44 Demanda Punta facturada vs. Potencia Instalada y Demanda Instantánea de equipos que operan 24 hrs.....	115
Gráfico 45 Distribución del consumo de artefactos de climatización, Agronomía.....	116
Gráfico 46 Consumo energético y cantidad de equipos de aire acondicionado por edificio, Agronomía.	116

Gráfico 47 Consumo energético de los equipos de refrigeración por edificio, Agronomía.	117
Gráfico 48 Distribución del consumo por equipos de refrigeración en Edificio U.....	117
Gráfico 49 Consumo energético de los artefactos de calefacción por edificio, Agronomía.....	118
Gráfico 50 Cantidad de equipos y consumo energético unitario de calefacción por edificio, Agronomía. ...	119
Gráfico 51 Distribución del consumo energético de Artefactos de Laboratorio, Veterinaria.	119
Gráfico 52 Consumo energético total y unitario de los artefactos de laboratorio por recinto, Veterinaria. .	120
Gráfico 53 Consumo de equipos de laboratorio en Farmacología.	121
Gráfico 54 Distribución del consumo energético en Climatización, Veterinaria.	122
Gráfico 55 Cantidad de equipos de aire acondicionado por recinto, Veterinaria.	122
Gráfico 56 Distribución del consumo energético en Calefacción , Veterinaria.	123
Gráfico 57 Consumo energético y cantidad total de equipos de calefacción, Veterinaria.	124
Gráfico 58 Distribución del consumo por tipo de luminaria en Veterinaria.....	124
Gráfico 59 Detalle distribución de artefactos de iluminación por recinto, Forestal.	125
Gráfico 60 Distribución de consumo energético en Iluminación, Forestal.	126
Gráfico 61 Consumo energético total y unitario de luminarias por recinto, Forestal.	126
Gráfico 62 Distribución consumo energético en Computación , Forestal.	127
Gráfico 63 Consumo energético y cantidad de computadores de escritorio, Forestal.	127
Gráfico 64 Desglose por cargos en simulación de tarifas 2013 para DemFP=DemHP	128
Gráfico 65 Desglose por cargos tarifa 2013 para consumo PP.	129
Gráfico 66 Desglose por cargos tarifa 2013 para consumo PPP.	129
Gráfico 67 Desglose por cargos tarifa 2013 para Dem HP= 0.7 X Dem FP.....	130
Gráfico 68 Desglose por cargos tarifa 2013 para Dem HP= 0.6 X Dem FP.	131
Gráfico 69 Desglose por cargos tarifa 2013 para consumo PP.	131
Gráfico 70 Desglose por cargos tarifa 2013 para consumo PPP.	132
Gráfico 71 Consumo de luminarias según recinto en Zona 1.	133
Gráfico 72 Cantidad de luminarias por recinto en Zona 1.....	133
Gráfico 73 Consumo energético de equipos de climatización en Zona 1.....	134
Gráfico 74 Distribución del consumo de equipos clasificados como "otros", Zona 1.	135
Gráfico 75 Consumo energético de equipos de laboratorio, Zona 2.....	136
Gráfico 76 Consumo energético luminarias, Zona 2.	137
Gráfico 77 Consumo de equipos de climatización en Zona 2.....	137
Gráfico 78 Consumo energético equipos de climatización, Zona 3.....	138
Gráfico 79 Consumo energético y cantidad de equipos de aire acondicionado, Zona 3.	138
Gráfico 80 Consumo energético luminarias, Zona 3.	139
Gráfico 81 Consumo de equipos de computación en Zona 3.....	140
Gráfico 82 Consumo energético equipos de laboratorio, Zona 4.....	141
Gráfico 83 Consumo energético luminarias, Zona 4.	141
Gráfico 84 Distribución del consumo de equipos de computación en Zona 4.	142
Gráfico 85 Consumo energético de equipos de climatización en Zona 5.....	143
Gráfico 86 Consumo equipos de aire acondicionado por recinto en Zona 5.	143
Gráfico 87 Consumo energético de equipos de computación en Zona 5.....	144
Gráfico 88 Consumo energético y cantidad de computadores de escritorio en Zona 5.	145
Gráfico 89 Consumo energético de luminarias en Zona 5.....	146
Gráfico 90 Consumo energético de equipos de climatización, en Zona 6.....	146
Gráfico 91 Consumo energético de equipos de computación en Zona 6.....	150
Gráfico 92 Consumo energético y cantidad de computadores de escritorio en Zona 6.	151
Gráfico 93 Consumo energético de luminarias en Zona 6.....	151
Gráfico 94 Consumo energético de equipos de climatización, Zona 7.....	152
Gráfico 95 Consumo energético y tiempo de uso de equipos de aire acondicionado, Zona 7.	152
Gráfico 96 Consumo energético de equipos de laboratorio, Zona 7.....	153
Gráfico 97 Consumo energético de luminarias, Zona 7.	154
Gráfico 98 Consumo energético de equipos de climatización, Zona 8.....	155
Gráfico 99 Consumo energético de equipos de computación en Zona 8.....	161

Gráfico 100 Consumo energético y cantidad de computadores de escritorio, Zona 8.	162
Gráfico 41 Comparación del modelo de suministro con el suministro de electricidad real.	169
Gráfico 42 Energía suministrada y energía simulada por el modelo.	170

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cronología de normas de gestión energética en diversos países del mundo.....	7
Tabla 2 Requisitos definidos por la norma ISO 50.001.....	10
Tabla 3 Criterio aplicado en la evaluación de requisitos de la Norma.....	26
Tabla 4 Brechas identificadas en Campus Sur y Campus Beauchef.....	27
Tabla 5 Evaluación de Brechas en Campus Sur y Campus Beauchef.....	28
Tabla 6 Tipología aplicada en el inventario de artefactos energéticos.....	31
Tabla 7 Ajuste del Balance Energético.....	35
Tabla 8 Datos de Suministro de Electricidad.....	37
Tabla 9 Oportunidades detectadas en el suministro, Campus Sur.....	48
Tabla 10 Oportunidades detectadas en el uso, Campus Sur (parte 1).....	49
Tabla 11 Oportunidades detectadas en el uso, Campus Sur (parte 2).....	50
Tabla 12 Oportunidades detectadas en el uso, Campus Sur (parte 3).....	51
Tabla 13 Oportunidades detectadas en el uso, Campus Sur (parte 4).....	52
Tabla 14 Oportunidades detectadas en el uso, Campus Sur (parte 5).....	53
Tabla 15 Balance energético entre los datos de suministro y la estimación del consumo energético.....	56
Tabla 16 Información empalmes que alimentan al campus.....	57
Tabla 17 Oportunidades detectadas en el suministro de electricidad, Campus Beauchef.....	67
Tabla 18 Oportunidades detectadas en el uso, Campus Beauchef (parte 1).....	68
Tabla 19 Oportunidades detectadas en el uso, Campus Beauchef (parte 2).....	69
Tabla 20 Oportunidades detectadas en el uso, Campus Beauchef (parte 3).....	70
Tabla 21 Oportunidades detectadas en el uso, Campus Beauchef (parte 4).....	71
Tabla 22 Oportunidades detectadas en el uso, Campus Beauchef (parte 5).....	72
Tabla 23 Oportunidades detectadas en el uso, Campus Beauchef (parte 6).....	73
Tabla 24 Oportunidades detectadas en el uso, Campus Beauchef (parte 7).....	74
Tabla 25 Coeficiente de correlación índices de operación y consumo energético.....	77
Tabla 26 Correlación consumo eléctrico con temperatura media (en Grados-día).....	78
Tabla 27 Línea base Campus Sur.....	81
Tabla 28 Línea base Campus Beauchef.....	81
Tabla 29 Indicadores de desempeño energético para el 2012, Campus Sur.....	82
Tabla 30 Clasificación de MEE AChEE.....	84
Tabla 31 Medidas de eficiencia propuestas en el Campus Sur.....	85
Tabla 32 Medidas de eficiencia propuestas en el Campus Beauchef.....	86
Tabla 33 Evaluación de las MEE propuestas para el Campus Sur.....	87
Tabla 34 Evaluación de las MEE propuestas para el Campus Beauchef.....	88
Tabla 35 Cumplimiento de requisitos definidos en la Norma ISO 50.001 (parte 1).....	100
Tabla 36 Cumplimiento de requisitos definidos en la Norma ISO 50.001 (parte 2).....	101
Tabla 37 Cumplimiento de requisitos definidos en la Norma ISO 50.001 (parte 3).....	102
Tabla 38 Cumplimiento de requisitos definidos en la Norma ISO 50.001 (parte 4).....	103
Tabla 39 Cumplimiento de requisitos definidos en la Norma ISO 50.001 (parte 5).....	104
Tabla 40 Cumplimiento de requisitos definidos en la Norma ISO 50.001 (parte 6).....	105
Tabla 41 Cumplimiento de requisitos definidos en la Norma ISO 50.001 (parte 7).....	106
Tabla 42 Cumplimiento de requisitos definidos en la Norma ISO 50.001 (parte 8).....	107
Tabla 43 Características generales Chiller Confort, Zona 1.....	134
Tabla 44 Estimación del consumo energético de equipos de aire acondicionado por superficie.....	144
Tabla 45 Características generales de equipos de aire acondicionado en AMTC.....	144
Tabla 46 Características generales equipo chiller Zona 6.....	147
Tabla 47 Características generales de equipo chiller centro de datos en Zona 6.....	149
Tabla 48 Características de Equipo 1 de climatización, Zona 8.....	156
Tabla 49 Características de Equipo 2 de climatización, Zona 8.....	157
Tabla 50 Características de Equipo 3 de climatización, Zona 8.....	158

Tabla 51 Características generales Chiller Centro de datos, Zona 8.....	160
Tabla 52 Índices de desempeño institucional del Campus Sur.....	164
Tabla 53 Índices de desempeño institucional del Campus Beauchef.....	164
Tabla 54 Comparación modelos de suministro eléctrico del Campus Sur en utilizando los Grados Día.....	165
Tabla 55 Comparación modelos de suministro eléctrico en utilizando los Grados Día.....	166
Tabla 56 Coeficientes de variación anual de las constantes calculados.....	168

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Ciclo de mejora continua de un SGE. Elaboración propia.....	8
Ilustración 2 Mapa de ubicación Campus Sur.	20
Ilustración 3 Organigrama del Campus Sur. Fuente: esquema propuesto por la Dirección del Campus Sur... ..	20
Ilustración 4 Mapa ubicación Campus Beauchef.....	21
Ilustración 5 Organigrama FCFM. Fuente: sitio web FCFM.	22
Ilustración 6 Metodología de trabajo.....	23
Ilustración 7 Carta Gantt trabajo Campus Sur.....	25
Ilustración 8 Carta Gantt trabajo Campus Beauchef.....	25
Ilustración 9 Metodología de revisión energética.....	30
Ilustración 10 Zonificación del Campus Sur.....	32
Ilustración 11 Zonificación del Campus Beauchef.....	33
Ilustración 12 Límite físico del estudio (demarcado por el rectángulo rojo).....	34
Ilustración 13 Alcances geográficos de la Auditoría Energética (perímetro marcado en verde).	55
Ilustración 14 Esquema de alimentación eléctrica edificios Campus Beauchef.....	58
Ilustración 15 Metodología para la proposición y evaluación de MEE.....	83
Ilustración 16 Organigrama Agronomía. Fuente: sitio web de la facultad.....	97
Ilustración 17 Organigrama Veterinaria. Elaboración propia, en base a los datos proporcionados por el sitio web.....	98
Ilustración 18 Organigrama Forestal. Fuente: sitio web de la facultad.....	98
Ilustración 19 Organigrama INTA. Fuente: sitio web del instituto.....	99
Ilustración 20 Fotografía equipo chiller Zona 6.....	147
Ilustración 21 Fotografía de Equipo 1, Zona 8.....	156
Ilustración 22 Fotografía de Equipo 2, Zona 8.....	157
Ilustración 23 Fotografía de Equipo 3, Zona 8.....	158
Ilustración 24 Fotografía Chiller Centro de datos, Zona 8.....	160
Ilustración 25 Consumo de iluminación por tipo de recinto en Zona 8.....	163

Capítulo 1: Introducción

1.1. Motivación

En la actualidad, existe una preocupación creciente en el mundo por el cambio climático y el impacto de las acciones del hombre sobre el medio ambiente, especialmente las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Se estima que cerca de un 80% de las emisiones de GEI a la atmósfera corresponde a la producción y uso de energía [1].

Esta situación han motivado medidas para restringir las emisiones de GEI por producción y uso de energía en diversos países del mundo. Estas medidas han impulsado acciones tanto por el lado de la producción, fomentando el desarrollo y aplicación de tecnologías de generación energética menos contaminantes, como por el lado del uso de la energía, reduciendo el consumo a través de la promoción de la eficiencia en los consumidores finales. Respecto a este último punto, diversos países han reconocido la necesidad de un manejo eficiente de la energía, especialmente en la industria donde existe un mayor potencial de ahorro, elaborando guías y normas nacionales que promuevan el buen uso de la energía.

En el plano internacional, existen diversas instituciones que apoyan la eficiencia energética, como por ejemplo, la estrategia de crecimiento de la Unión Europea, *Europe 2020*, que pretende reducir hasta en un 20% el consumo energético primario [2] al año 2020, el programa Energy Star creado por la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA en inglés) de Estados Unidos que promueve el uso de equipos y edificios eficientes, la Agencia Internacional de Energía (EIA en inglés), que agrupa a gran parte de la comunidad europea y países desarrollados, promoviendo prácticas y políticas de eficiencia energética, entre otros.

En una iniciativa de la Organización del Desarrollo Industrial de las Naciones Unidas (UNIDO, de sus siglas en inglés) por comprometer el sector productivo con el medio ambiente y buscando unificar criterios para la aplicación de estándares de gestión energética, se encargó a la Organización Internacional de Estándares (ISO, por sus siglas en inglés) la creación de una norma internacional para la gestión de la energía. El año 2011 se publica la norma ISO 50.001 que propone la implementación de un Sistema de Gestión

de la Energía (SGE) que logre mejoras continuas en la eficiencia, uso y consumo de energía en una organización.

En el contexto nacional, se observa un escenario complejo. Cerca de un 66% de los energéticos primarios corresponde a combustibles fósiles, donde más del 90% de éstos debe ser importado [3], agregando una componente de volatilidad en los precios de energía. La leña es el segundo energético más importante después del petróleo [3], siendo consumida especialmente por el sector residencia, perjudicando la calidad del aire en varias ciudades del país. La judicialización de grandes proyectos de generación ha frenado el desarrollo de la matriz energética [4], impactando el precio de la energía en el país y acarreando consecuencias económicas significativas, especialmente en minería [5]. A pesar del gran potencial de generación ERNC, la mayoría de los proyectos de generación renovable se encuentran estancados por problemas de financiamiento [6].

Lo anterior, junto a la presión por tratados internacionales por reducción de la emisión de GEI, ha motivado el interés de las autoridades por impulsar la eficiencia energética en el país como alternativa al problema energético y ambiental, estableciendo como objetivo la reducción de un 20% del consumo energético proyectado al año 2025 [7].

Hasta la fecha se han logrado avances institucionales importantes en torno a la eficiencia energética. La creación de la Agencia Chilena de Eficiencia Energética ha servido para promover la eficiencia en el país a través del financiamiento de proyectos, elaboración y difusión de guías de eficiencia energética, dentro de las cuales se cuenta la promoción de la implementación de la ISO 50.001. Por otro lado, el Consejo Nacional de Producción Limpia es una instancia generada por el gobierno que invita a las empresas e instituciones a mejorar sus prácticas de producción a través de un Acuerdo de Producción Limpia que establece requisitos de producción sustentable.

Este trabajo se enmarca en el cumplimiento de la meta de eficiencia energética definida en el Acuerdo de Producción Limpia (APL) Campus Sustentable, firmado por el Campus Sur y Campus Beauchef de la Universidad de Chile. El cumplimiento de esta meta se apoyará en la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía basado en la ISO 50.001.

Con este trabajo se quiere contribuir a la reducción del consumo energético en Chile, buscando mejorar la gestión de la energía en los Campus Sur y Beauchef de la Universidad de Chile.

1.2. Objetivos

Los objetivos generales y específicos del trabajo de memoria se presentan a continuación.

1.2.1. Objetivo General

Como objetivo general de este trabajo se plantea lo siguiente:

- Contribuir en el proyecto *Instalación de bases para un plan de eficiencia energética integral para el Campus Sur y Campus Beauchef de la Universidad de Chile* como asesor técnico, implementando los requisitos de carácter técnico correspondientes a la etapa de planificación (definidos en el punto 4.4. *Planificación Energética* de la norma ISO 50.001).

1.2.2. Objetivos Específicos

Los objetivos específicos de este trabajo se aplican al Campus Sur y Campus Beauchef, correspondiendo a los siguientes:

- Evaluar la situación energética inicial a través de un análisis de las brechas con respecto a la satisfacción de los requisitos presentados en la norma ISO 50.001 para la implementación de un Sistema de Gestión Energética.
- Ejecutar una revisión energética de acuerdo a la ISO 50.001, consistente en la determinación del perfil energético de cada campus, identificando las principales fuentes de energía, consumos más significativos y oportunidades de mejora de eficiencia energética.
- Determinar una línea base energética representativa de la situación energética durante el período de estudio.
- Determinar indicadores de desempeño energético que sirvan para medir el desempeño energético.
- Proponer y evaluar medidas de mejora basadas en los resultados de la revisión energética.

1.3. Hipótesis de Trabajo

Con este trabajo se espera, para ambos campus, lo siguiente:

- Determinar las brechas existentes para la implementación de un Sistema de Gestión Energética según ISO 50.001.
- Implementar los requisitos *4.4.3 Revisión energética*, *4.4.4 Línea base* y *4.4.5 Indicadores de desempeño energético* definidos en la ISO 50.001.
- Proponer y evaluar económicamente medidas de eficiencia energética basadas en los resultados de la revisión energética.

1.4. Alcances

Los alcances generales del trabajo se presentan a continuación:

- El análisis de brechas se limita a identificar las brechas actuales. No se considera una etapa de cierre de brechas.
- La implementación de los puntos *4.4.3 Revisión energética*, *4.4.4 Línea base energética* y *4.4.5 Indicadores de desempeño energético*, establecidos en la ISO 50.001.
- Se proponen y evalúan de medidas que mejoren el desempeño energético del campus a partir de los resultados de las etapas anteriores.
- Los alcances físicos del trabajo se limitan a los sectores definidos durante la revisión energética en ambos campus.
- La información utilizada corresponde a los datos recopilados en la revisión energética.

1.5. Estructura del Trabajo

El siguiente trabajo se organizará en 9 capítulos que se presentan de acuerdo al desarrollo del proyecto. A continuación se presentan los capítulos.

- Capítulo 2: Antecedentes

Se presentan los conceptos teóricos relacionados con un sistema de gestión energética y la evaluación de medidas de eficiencia energética, así como los antecedentes del proyecto en el cual se enmarca este trabajo.

- Capítulo 3: Metodología y Plan de Trabajo
Se presenta la metodología general del trabajo y la planificación de las actividades necesarias para ejecutarlo.
- Capítulo 4: Análisis de Brechas
En este capítulo se analizan las brechas existentes en ambos campus para la implementación de un Sistema de Gestión Energética según los requisitos definidos en la norma ISO 50.001.
- Capítulo 5: Revisión Energética
Se presentan los principales resultados de la implementación de una revisión energética en el Campus Sur y Campus Beauchef.
- Capítulo 6: Cuantificación del Desempeño Energético
Se analizan los factores relacionados a la operación del campus que influyen en el consumo energético. Se define una línea base energética para ambos campus de acuerdo a los resultados de la revisión energética. Se proponen indicadores del desempeño energético que sirvan para evaluar el desempeño de cada campus.
- Capítulo 7: Evaluación de Medidas de Eficiencia Energética
Se proponen, para cada campus, medidas que mejoren el desempeño energético en base a los resultados de la revisión energética.
- Capítulo 8: Conclusiones
En este capítulo se presentan las conclusiones del proyecto y las conclusiones generales sobre el trabajo realizado.

Capítulo 2: Antecedentes

2.1. Antecedentes Teóricos

A continuación se presentan los aspectos que conforman el marco teórico de este trabajo.

2.1.1. Eficiencia Energética

La Eficiencia Energética representa el eje principal sobre el cual se desarrolla este trabajo, por lo que resulta importante estar familiarizado con este concepto para un correcto entendimiento de los capítulos siguientes. A continuación se revisan los principales aspectos relacionados con la eficiencia energética.

2.1.1.1. ¿Qué es la Eficiencia Energética?

La eficiencia energética corresponde a una relación cuantitativa en un proceso entre el producto final y la energía empleada. Según la norma chilena NCH ISO 50.001 el concepto de Eficiencia Energética se puede entender como “una razón, u otra relación cuantitativa, entre un resultado de desempeño, servicio, bienes o energía y la energía utilizada en su producción o transformación”.

Dentro de esta definición, es importante diferenciar entre eficiencia, ahorro y eficacia. El ahorro energético corresponde a la reducción del consumo de energía, sin considerar necesariamente las condiciones de producción final. De esta forma, el ahorro energético puede ser el resultado de acciones de eficiencia energética. La eficacia, en tanto, corresponde a la capacidad de lograr un objetivo deseado, de forma independiente al consumo utilizado. De acuerdo con lo anterior, un proceso puede ser eficaz, en tanto logra los objetivos planteados, sin ser eficiente.

2.1.1.2. Normativa

En torno a la eficiencia energética existen diversas normas y estándares técnicos que se aplican en distintas áreas. En particular, en lo que respecta a sistemas de gestión energética, se han desarrollado diversas normas y guías en distintos países. No obstante, la creación y aplicación de un estándar general e internacional es más bien una idea reciente.

Existen diversos precedentes sobre normativa aplicada al manejo y gestión de la energía. Dentro de éstas se pueden mencionar a las siguientes [8]:

Año	País	Norma
1982	Japón	JIS Z 9211 <i>Technical Terms used in Energy Management</i>
1985	Corea del Sur	B 0071 <i>Technical Terms used in Energy Management (N° 2)</i>
1990	Australia	AS 3595:1990 <i>Energy Management programs – Guidelines financial evaluation of a project</i>
1995	Canadá	PLUS 1140:1995 <i>A Voluntary Energy Management Guiline</i>
	China	GB/T 15587:1995 <i>Guidelines for Energy Management in Industrial Enterprise</i>
	EE.UU.	ANSI 739:1995 <i>IEEE Recomendad practice for energy management in industrial and commercial facilities</i>
2000	EE.UU.	ANSI/MSE <i>A Management System Energy Standard</i>
2001	Dinamarca	DS 2403:2001 <i>Energy Management-Specification</i>
	Reino Unido	HB 1090:2001 <i>Integrated Management System Series</i>
2003	Reino Unido	PASS 55-1:2003 <i>Specifications for the optimised management of physical infrastructure assets.</i>
	Suecia	SS 627750:2003 <i>Energy Management-Specification</i>
2004	Holanda	<i>Energy Management System Specification with Guidance for Use</i>
2005	Irlanda	IS 393:2005 <i>Energy Management Systems-Specification for Guidance for Use</i>
2006	Alemania	VDI 4602 Blatt 1:2006-04 <i>Energy Management Terms – Definitions</i>
2007	España	UNE 216301:2007 <i>Sistema de Gestión Energética</i>
	Corea del Sur	KSA 4000:2007 <i>Korean Energy Management Standards</i>
2009	UE	UNE EN 16.001:2009 <i>Sistemas de Gestión Energética</i>
	Sudáfrica	SANS 879:2009 <i>Energy Management Specifications</i>
2011	Internacional	ISO 50.001 <i>Implementación de un Sistema de Gestión Energética</i>

Tabla 1 Cronología de normas de gestión energética en diversos países del mundo.

En Chile no existían normas relacionadas con la gestión de la energía sino hasta la adopción de la norma ISO 50.001 como la norma chilena NCH ISO 50.001 en el año 2011.

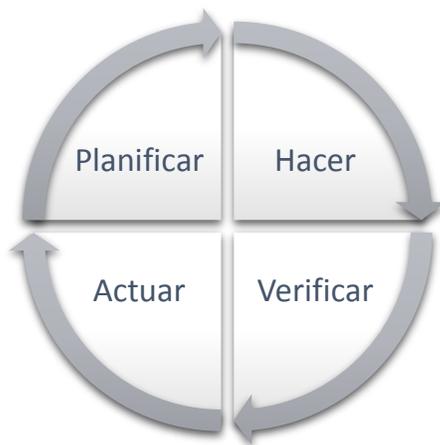
2.1.2.ISO 50.001

A continuación se presentan los conceptos asociados a la implementación de un Sistema de Gestión de Energía según norma ISO 50.001.

2.1.2.1. *Sistemas de Gestión*

Un Sistema de Gestión (SG) se puede definir como un ciclo de acción continua que comprende varias etapas, las que se establecen para lograr una mejora continua de políticas, procedimientos y procesos en una organización. La ejecución sucesiva de estas etapas alcanza, en cada iteración, una mejora con respecto a la iteración anterior, es por esto que se habla de una mejora continua.

Un SG establece un ciclo de mejora continua a través del método PHVA o Círculo de Deming¹, que se representa por la Ilustración 1.



- **Planificar:** se establecen los objetivos y políticas que determinen procedimientos de mejora.
- **Hacer:** se implementan los procedimientos de la etapa anterior.
- **Verificar:** se mide el desempeño de los procedimientos implementados
- **Actuar:** se toman acciones de mejora.

Ilustración 1 Ciclo de mejora continua de un SGE. Elaboración propia.

2.1.2.2. *Sistema de Gestión Energética*

Un Sistema de Gestión Energética (SGE) corresponde a un SG orientado al uso de la energía en una organización. El objetivo principal de un SGE es mejorar el desempeño energético de una organización a través de un proceso de mejora continua a través del modelo PHVA.

¹ Se le atribuye al estadístico W. Edwards Deming el planteamiento del método de gestión PHVA.

La implementación de un SGE permite a la institución gestionar el consumo y uso energético, generando ahorros energéticos, alcanzando mayor competitividad por menor dependencia del costo energético, mejorando la imagen corporativa por la reducción del impacto al medioambiente y contribuyendo con la seguridad energética del país por la reducción de la demanda.

2.1.2.3. La Norma ISO 50.001

La norma ISO 50.001 (en adelante “la Norma”) fue publicada en Junio del 2011 por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO), y con el objetivo de ayudar a las organizaciones a “mejorar su desempeño energético, aumentar su eficiencia energética y reducir los impactos ambientales, así como también incrementar sus ventajas competitivas dentro de los mercados en los que participan, todo esto sin sacrificio de la productividad” [9].

En la elaboración de la ISO 50.001 participaron miembros representantes de las instituciones de estandarización de 48 países, junto a otros 17 países observadores.

El alcance de la Norma establece los requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión energética, especificando requerimientos referentes al consumo y uso de la energía, incluyendo la medición, documentación e informes, el diseño y las prácticas de adquisición de equipos, sistemas, procesos y personal que influyen en el desempeño energético [10].

2.1.2.4. Por qué ISO 50.001

La norma ISO 50.001 se utiliza cada vez más en las empresas y organizaciones del mundo que desean implementar un SGE. En términos de aplicación y reconocimiento esta norma presenta ventajas con respecto a otras normas similares:

- Es la norma más nueva y actualizada relacionada a la gestión energética.
- En la elaboración de la Norma contó con la participación de expertos representantes de 44 países miembros de ISO y otros 17 países observadores.
- Recoge los puntos más importantes de la normativa existente en distintos países.
- Se puede aplicar a cualquier tipo de organización, independientemente de su tamaño, origen o ubicación.
- No exige certificación.
- Se estima un potencial que la norma puede influir hasta en un 60% del consumo energético del mundo [11].

2.1.2.5. Requisitos de ISO 50.001

La Norma establece requisitos para la implementación de un SGE que genere mejoras continuas en el desempeño energético, los que se presentan en el apartado 4 *Requisitos del sistema de gestión de la energía*. Los requisitos, tal y como la Norma los presenta, se muestran en la Tabla 2.

Etapa	Requisitos
Información General	4.1. Requisitos Generales 4.2. Responsabilidad de la dirección 4.2.1. Alta dirección 4.2.2. Representante de la dirección 4.3. Política energética
Planificar	4.4. Planificación energética 4.4.1. Generalidades 4.4.2. Requisitos legales y otros equipos 4.4.3. Revisión energética 4.4.4. Línea base energética 4.4.5. Indicadores de desempeño energético 4.4.6. Objetivos energéticos, metas energéticas y planes de acción de gestión de la energía
Hacer	4.5. Implementación y Operación 4.5.1. Generalidades 4.5.2. Competencia, formación y toma de conciencia 4.5.3. Comunicación 4.5.4. Documentación 4.5.5. Control operacional 4.5.6. Diseño 4.5.7. Adquisición de servicios de energía, productos, equipos y energía
Verificar	4.6. Verificación 4.6.1. Seguimiento, medición y análisis 4.6.2. Evaluación de cumplimiento con los requisitos legales y otros requisitos 4.6.3. Auditoría interna del SGE 4.6.4. No-conformidades, corrección, acción, correctiva y preventiva 4.6.5. Control de registros
Actuar	4.7. Revisión por la dirección 4.7.1. Generalidades 4.7.2. Información de entrada para la revisión por la dirección 4.7.3. Resultado de la revisión por la dirección

Tabla 2 Requisitos definidos por la norma ISO 50.001.

En la primera etapa, se busca establecer un compromiso de la dirección en la implementación y mantención de un SGE, lo que se materializa en el reconocimiento de responsabilidades, la designación de un representante encargado de la implementación y mantención del SGE y la determinación de una política energética.

La etapa de planificación comprende una revisión y análisis de la situación energética de la organización que sirva para evaluar el desempeño energético y determinar planes de acción que se encarguen de las oportunidades detectadas.

Posteriormente se establecen instrumentos y mecanismos para la implementación de los planes de acción determinados en la etapa anterior y la operación de los procesos y equipos involucrados en el desempeño energético.

En la etapa de verificación se realiza una medición y análisis de los resultados de la etapa anterior. En base a los resultados se aplican acciones correctivas y preventivas.

Por último, se deben revisar los resultados de las etapas anteriores para tomar determinar las acciones a seguir. Para esto se establecen instrumentos para la revisión por parte de la dirección del estado del SGE.

2.1.2.6. Conceptos definidos en la Norma

A continuación se presentan los conceptos más relevantes, definidos en la norma, que se aplican en este trabajo.

Revisión Energética

La revisión energética corresponde al procedimiento por el cual es posible conocer la situación energética de una organización en un período de referencia. De acuerdo con la Guía ISO 50.001 la revisión energética se define como “un proceso de desarrollo y análisis del perfil energético de la organización, consistente en reunir los consumos de energía de las diferentes fuentes, y analizarlos para identificar en qué áreas del proceso se concentra el uso significativo de energía” [12].

De acuerdo con las especificaciones de la Norma, para implementar una revisión energética, la organización debe:

- a) Analizar el uso y consumo de energía en base a la medición y otros datos.
- b) Identificar las áreas de uso significativo de energía.
- c) Identificar, priorizar y registrar oportunidades para mejorar el desempeño energético.

La Norma no especifica la manera en que se realice una revisión, pudiendo implementarse distintas metodologías de acuerdo a los requerimientos de la organización.

Línea Base

La línea base corresponde a una representación cuantitativa de la situación energética de la organización en un tiempo determinado. Esta representación establece una referencia para la comparación del desempeño energético de la organización.

La línea base se construye de los resultados de la revisión energética y debe considerar, al menos, dos aspectos:

- Límite de Medida; depende principalmente de los alcances físicos sobre los que se quiere evaluar el desempeño energético.
- Período de Referencia; debe ser acorde a las características del consumo del campus.

De acuerdo con esto, la línea base de energía debe actualizarse en el tiempo o ante cualquier cambio que afecte significativamente el consumo de energía.

Indicadores de Desempeño Energético

Los indicadores de desempeño energético (IDE) se corresponden a una medida cuantitativa del desempeño energético de la organización.

Los IDE tienen como finalidad ser parámetros de control operacional y monitoreo del desempeño energético de la organización. Es por esto que los IDE deben definirse de acuerdo al rubro de la organización, de manera adecuada para un correcto control operacional.

2.1.3. Grados-día

Típicamente la temperatura media de la zona donde se encuentra un edificio incide en el consumo energético de éste. Para evaluar la influencia de la temperatura media sobre el consumo se utiliza una medida conocida como Grados-día (GD) que cuantifica la diferencia térmica en un tiempo determinado respecto a una temperatura de referencia.

Los Grados-Día se utilizan para evaluar las necesidades térmicas, durante un período determinado, en la evaluación de distintas instalaciones y/o recintos. Dependiendo si se quiere medir la temperatura media bajo una cierta referencia, o sobre ésta, se tienen *Grados-Día de Calefacción (GDC)* y *Grados-Día de Refrigeración (GDR)* respectivamente.

Existen diversas formas de cuantificar los grados días, en este caso se utiliza la siguiente expresión para calcular los GDC y GDR [13]:

$$GDC_{T_0,[d_x,d_y]} = \sum_{i=d_x}^{d_y} \max\{T_0 - T_i, 0\}$$
$$GDR_{T_0,[d_x,d_y]} = \sum_{i=d_x}^{d_y} \max\{T_i - T_0, 0\}$$

Donde

- $GD_{T_0,[d_x,d_y]}$ corresponde a los Grados-Día (de calefacción o refrigeración) referidos a la temperatura T_0 medidos entre los días d_x y d_y .
- T_i corresponde a la temperatura media del día $d_i \in \{d_x, d_y\}$.

2.1.4. Criterios de Evaluación

A continuación se presentan algunas herramientas utilizadas en la evaluación de modelos estadísticos de consumo energético y beneficios económicos por la implementación de una medida de eficiencia energética.

2.1.4.1. Modelo Estadístico

El diseño de modelos capaces de predecir los resultados de una variable aleatoria en base a otra, requiere de herramientas que sirvan para evaluar la calidad del modelo. Estas herramientas se utilizan en la construcción de un modelo de consumo energético para discriminar las variables influyentes y evaluar la bondad de la predicción.

A continuación se presentan dos indicadores estadísticos utilizados para determinar la relación existente entre dos o más variables y para evaluar la calidad de un modelo de predicción.

Coefficiente de Correlación

El coeficiente de correlación se utiliza para medir la relación lineal existente entre dos variables [14]. Esta relación se mide de acuerdo al sentido (o dirección) y cercanía (o fuerza) de estas variables.

Existen varias formas de medir la correlación entre variables. La expresión más conocida corresponde al coeficiente de correlación de Pearson. Este coeficiente toma valores en el

rango [-1,1], indicando una relación directa para valores positivos y una relación indirecta para valores negativos. La expresión del coeficiente de Pearson corresponde a la siguiente

$$\rho = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \cdot \sigma_Y}$$

Donde

- σ_{XY} corresponde a la covarianza entre las variables X e Y.
- σ_X corresponde a la desviación estándar de la variable X.
- σ_Y corresponde a la desviación estándar de la variable Y.

Coeficiente de Determinación

El coeficiente de determinación, o también R^2 , se utiliza para medir la calidad de la predicción de un modelo estadístico. Este índice toma valores entre 0 y 1, correspondiendo un valor cercano a 1 a una buena capacidad de predicción del modelo.

En el caso de una regresión lineal, el coeficiente de determinación es equivalente al cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson. En este caso la expresión utilizada para calcular el R^2 es la siguiente

$$R^2 = \rho^2$$

2.1.4.2. Evaluación Económica

La evaluación económica de un proyecto de eficiencia energética contabiliza los flujos del ahorro estimado por la implementación de una medida de eficiencia frente a una situación de referencia.

A continuación se presentan algunos de indicadores de evaluación de inversiones comúnmente utilizados en proyectos de eficiencia energética [15].

Valor Actual Neto

El Valor Actual Neto (VAN) mide la ganancia (o pérdida) equivalente valorizada al momento de implementación del proyecto sobre la tasa de descuento requerida por el inversionista. La expresión utilizada para calcular el VAN es la siguiente:

$$VAN = F_0 + \sum_{t=1}^N \frac{F_t}{(1+r)^t}$$

Donde

- VAN corresponde al Valor Actual Neto con un horizonte de evaluación de N períodos con tasa de descuento r .
- F_0 corresponde al flujo inicial (inversión) del proyecto.
- F_t corresponde al flujo en el período t .
- r corresponde a la tasa de descuento exigida para el proyecto.

En general, se definen períodos anuales y un horizonte de evaluación acorde a la vida útil del proyecto. La tasa de descuento corresponde a la rentabilidad exigida por el inversionista en base a la mejor alternativa para la inversión del capital con el mismo riesgo.

El criterio de inversión asociado al VAN recomienda la ejecución del proyecto sólo si el VAN es positivo. En el caso de varias alternativas con VAN positivo, el criterio establece ejecutar el proyecto con mayor VAN.

Tasa Interna de Retorno

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es indicador asociado al VAN y corresponde a la tasa de descuento para la cual el VAN de un proyecto es igual a cero, es decir

$$TIR = \{\hat{r}: VAN(\hat{r}) = 0\}$$

El criterio de decisión basado en la TIR establece que se debe ejecutar un proyecto sólo si la TIR es mayor que la tasa de retorno exigida por el inversionista, $TIR > r$.

Período de Recuperación de la Inversión

El Período de Recuperación de la Inversión (PRI) o Capital (PRC) mide el tiempo en que los flujos generados por el proyecto (sin descontar) igualan la inversión. El PRI se calcula a través de la siguiente expresión

$$PRI = \min \left\{ T: F_0 + \sum_t F_t \geq 0 \right\}$$

Este indicador se utiliza para evaluar los proyectos de acuerdo al tiempo en que se recupera la inversión. El criterio dice que se debe ejecutar el proyecto con menor PRI.

2.2. Contexto Nacional

A continuación se presentan los antecedentes más relevantes de la eficiencia energética en Chile.

2.2.1. Eficiencia Energética en Chile

Es posible señalar el comienzo de la inclusión de la eficiencia energética dentro de las políticas gubernamentales hacia el año 2005, fecha en que el Ministerio de Economía crea el Programa País de Eficiencia Energética (PPEE) a fin de consolidar la eficiencia como una fuente alternativa de energía. Este programa generó progresos en la incorporación de la eficiencia en la sociedad a través de avances como el etiquetado de eficiencia de productos, la “Campaña Nacional por el Buen Uso de la Energía”, diagnóstico de diversos sectores productivos, entre otros.

La crisis energética del año 2008 atrajo la atención del sector productivo en alternativas de eficiencia energética, impulsando la ejecución de proyectos privados en la industria, minería y agricultura. Por otro lado, el PPEE pasa depender de la dirección de la Comisión Nacional de Energía (CNE), lo que favoreció el desarrollo del programa.

En el 2010 se crea el Ministerio de Energía y junto con él la División de Eficiencia Energética, la cual asume la tarea de proponer políticas públicas de EE para el gobierno. Al mismo tiempo, el PPEE toma una nueva forma al transformarse en la Agencia Chilena de Eficiencia Energética.

El 2010 se lanza un Plan de Acción de Eficiencia Energética (PAEE) y en el año 2012 la Estrategia Nacional de Energía fija como objetivo la reducción de un 12% de la demanda final proyectada al 2020 [16]. El actual gobierno (año 2014) se comprometió en su Agenda de Energía 2014-2018 [7] a reducir en un 20% el consumo energético esperado al año 2025.

2.2.2. Actores Nacionales

A continuación se presentan los principales organismos relacionados con la eficiencia energética en el país.

2.2.2.1. *Agencia Chilena de Eficiencia Energética*

La Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE) es una fundación privada, sin fines de lucro, que busca “promover, fortalecer y consolidar el uso eficiente de la energía articulando a los actores relevante, a nivel nacional e internacional, e implementando

iniciativas público privadas en los distintos sectores de consumo energético, contribuyendo al desarrollo competitivo y sustentable del país” [17].

La AChEE se crea en Noviembre del año 2010 buscando reforzar la eficiencia energética en el país. Para cumplir con su misión, la AChEE patrocina e implementa proyectos dedicados a la disminución del consumo de energía, focalizándose en las áreas de mayor consumo. También ofrece bibliografía, guías y capacitaciones en eficiencia energética a la comunidad.

2.2.2.2. *Ministerio de Energía*

El Ministerio de Energía nace el año 2010, asumiendo las responsabilidades energéticas que le correspondían al antiguo Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción.

El objetivo principal de este ministerio es elaborar planes, políticas y normas del sector energético, velar por su cumplimiento y asesorar al gobierno en todos los temas que tengan relación con la energía [18].

El Ministerio de Energía es el organismo que supervisa y apoya a la AChEE, impulsando programas a través de la Agencia la eficiencia energética en Chile que promuevan la disminución del consumo energético.

2.2.2.3. *Consejo Nacional de Producción Limpia*

El Consejo Nacional de Producción Limpia (CPL) es un organismo creado por el acuerdo N° 2091/2000 del Consejo de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) en Diciembre del año 2000. Este organismo se establece como un promotor de la sustentabilidad en el sector productivo, impulsando acciones conjuntas entre el sector público y privado orientadas a impulsar la producción limpia y la disminución de la contaminación del medio ambiente.

El CLP tiene como misión “impulsar la producción limpia para lograr mayor sustentabilidad, modernización productiva y competitividad de las empresas, con énfasis en la pequeña y mediana, a través de la cooperación público-privada y la articulación de las políticas y decisiones de los diversos actores” [19].

Uno de los mecanismos de promoción de la producción limpia corresponde al establecimiento de un Acuerdo de Producción Limpia (APL), instrumento por el cual la organización que lo contrae se compromete a implementar acciones que disminuyan su impacto sobre el medioambiente. En particular, el *APL Campus Sustentable* es un acuerdo

que involucra a instituciones de educación superior en el compromiso con la sustentabilidad [20]. El APL Campus Sustentable compromete tres áreas que conforman las bases de una universidad sustentable:

- Compromiso Institucional
- Diseño Curricular
- Operación del Campus

Es dentro de este último punto donde participa la gestión energética, estableciéndose como una de las metas exigidas por el APL Campus Sustentable.

2.3. Antecedentes del Proyecto

A continuación se presentan los antecedentes del proyecto sobre el cual se desarrolló este trabajo.

2.3.1. Implementación de un Plan de Mejora de Eficiencia Energética

En Diciembre del 2012, el Campus Sur y el Campus Beauchef de la Universidad de Chile firman el APL Campus Sustentable con el Consejo Nacional de Producción Limpia. El APL Campus Sustentable compromete una serie de metas, dentro de las cuales se encuentra la reducción del 5% del consumo de energía del Campus Sur en kWh equivalente por metro cuadrado.

Para cumplir con el objetivo de reducción del consumo energético, Campus Sur y Campus Beauchef, junto a la empresa consultora de ingeniería +Energía, postularon a concurso el proyecto *Implementación de un Plan de Mejora de Eficiencia Energética*. Este proyecto (en adelante “el Proyecto”) resultó ganador, obteniendo financiamiento de la AChEE para la ejecución del mismo.

2.3.1.1. *Objetivos del Proyecto*

El objetivo general del Proyecto se presenta a continuación:

- *Sentar las bases para la implementación de un plan integral de eficiencia energética para Campus Sur y Campus Beauchef de la Universidad de Chile.*

Los objetivos secundarios se presentan a continuación:

- a) *Incorporar en la formación de los estudiantes de pregrado fundamentos de Eficiencia Energética y sus aplicaciones mediante la creación de nuevos cursos y la ampliación de contenidos en cursos pre-existentes.*
- b) *Elaborar una propuesta de sistema de gestión de energía, con bases en la norma ISO 50.001, que permita cumplir con los compromisos adquiridos en el Acuerdo de producción Limpia “Campus Sustentable” ya suscrito por la institución.*
- c) *Idear una estrategia de difusión de los resultados de la implementación de este proyecto hacia la comunidad Universitaria.*

2.3.2.Participantes del Proyecto

A continuación se presentan los agentes involucrados en el Proyecto sobre el cual se realizó el presente trabajo de memoria.

2.3.2.1. *Campus Sur*

En el Campus Sur de la Universidad de Chile se encuentran las facultades de Ciencias Agronómicas (en adelante Agronomía), Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza (en adelante Forestal), Ciencias Veterinarias y Pecuarias (en adelante Veterinaria) y el Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos (en adelante INTA).

La historia del campus se remonta al año 1966, momento en que empieza la construcción de lo que fue el Campus Antumapu. Desde entonces, el Campus Sur ha experimentado un crecimiento considerable, pasando de albergar 500 personas inicialmente a una cifra por sobre las 3.000 personas en los últimos años.

Ubicación

El campus se divide en dos zonas ubicadas en la Av. Santa Rosa 11315 y 11735, comuna de La Pintana, y Av. El Líbano 5524, comuna de Macul. En el sector ubicado en la comuna de La Pintana se encuentran las facultades de Agronomía, Veterinaria y Forestal. En la comuna de Macul se ubica INTA. En la Ilustración 2 se observa el mapa con la distribución geográfica del Campus.



Ilustración 2 Mapa de ubicación Campus Sur.

Organización

La estructura organizacional del campus se muestra en el esquema inferior.

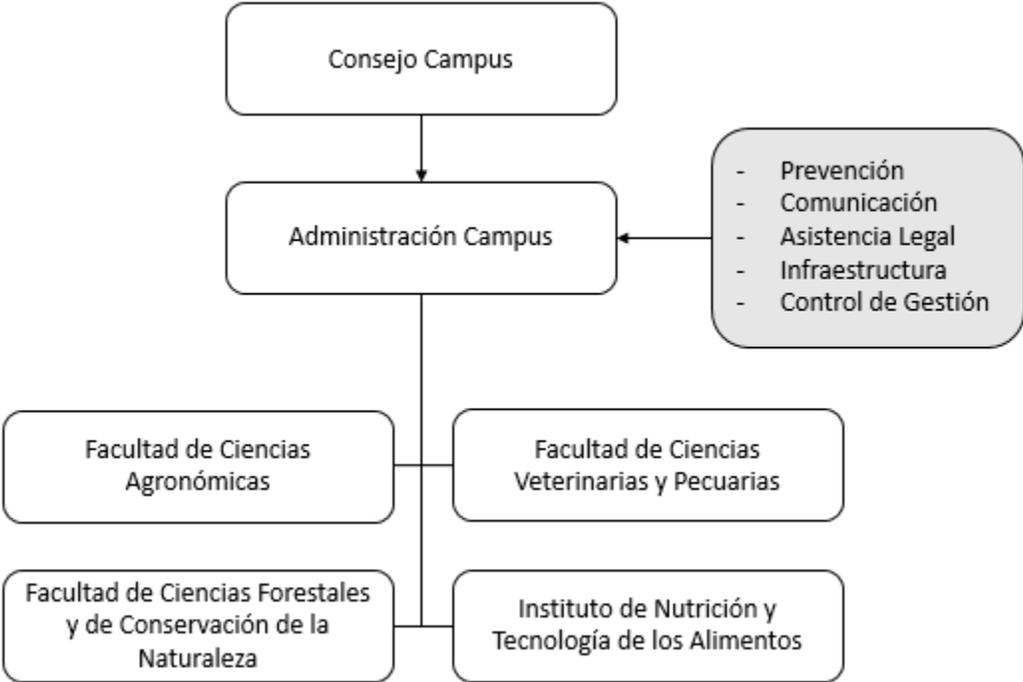


Ilustración 3 Organigrama del Campus Sur. Fuente: esquema propuesto por la Dirección del Campus Sur.

Es la dirección del campus, en particular el encargado de infraestructura, quien se encarga de la gestión y ejecución del Proyecto. El organigrama de cada facultad del campus se presenta en el anexo A1.

2.3.2.2. *Campus Beauchef*

El Campus Beauchef alberga a la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (FCFM) de la Universidad de Chile. Esta facultad posee trece departamentos y tres centros de investigación. La FCFM se crea junto con la Universidad de Chile en el año 1842, ocupando las dependencias de lo que hoy corresponde a la Casa Central de la universidad. El año 1922, la FCFM se traslada a la calle Benavente 850 – actual Beauchef -, lugar donde permanece hasta el día de hoy y que conforma el Campus Beauchef.

Ubicación del campus

El campus se reparte en distintas dependencias, en su mayoría ubicadas en la comuna de Santiago. El grueso de las instalaciones se ubican en Beauchef 850, comuna de Santiago, abarcando toda una manzana, tal y como se muestra en la Ilustración 4.



Ilustración 4 Mapa ubicación Campus Beauchef.

Organización

La FCFM se organiza de acuerdo al esquema presentado en la Ilustración 5. En particular, el responsable del Proyecto en el campus corresponde al encargado de la oficina de sustentabilidad, la cual depende del vicedecanato .

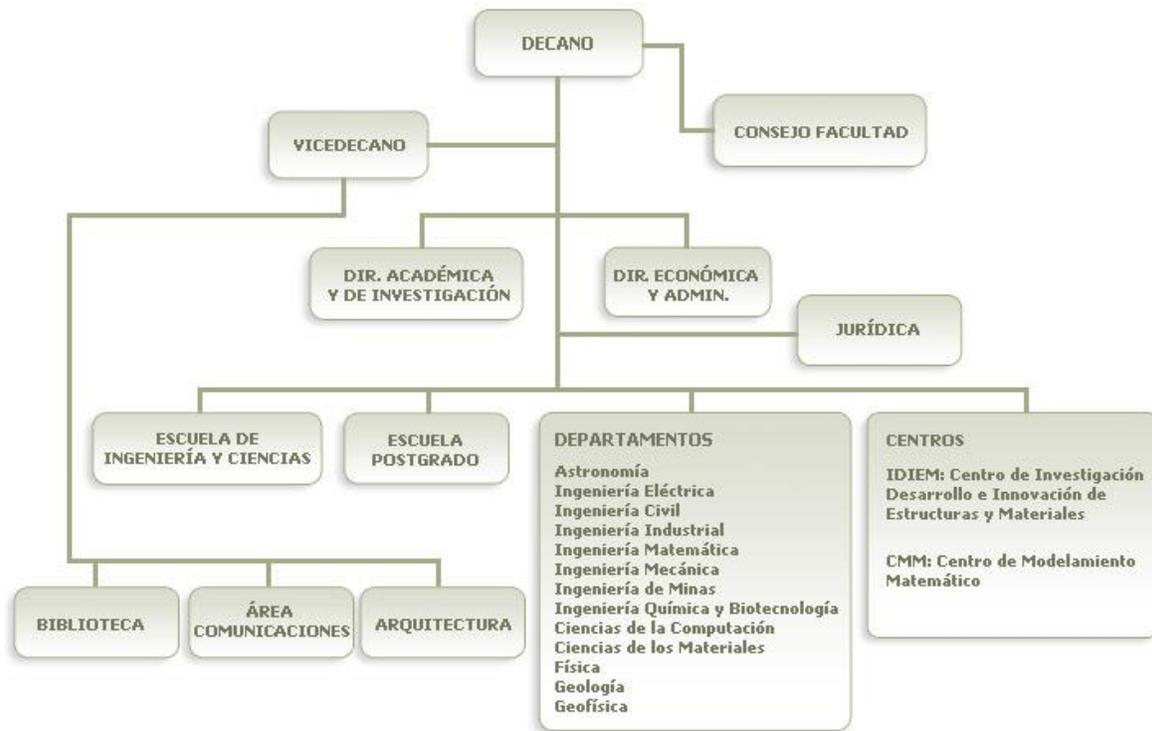


Ilustración 5 Organigrama FCFM. Fuente: sitio web FCFM.

2.3.2.3. Empresa de Ingeniería +Energía

+Energía es una empresa de ingeniería dedicada a orientar y asesorar a las organizaciones que deseen implementar un SGE basado en ISO 50.001. Para ello ofrece servicios de auditorías y asesoría energética, gestor energético y software online de gestión energética.

Capítulo 3: Metodología y Plan de Trabajo

3.1. Metodología

La metodología del trabajo, basada en la estructura propuesta por +Energía para el Proyecto, propone un orden secuencial que permita cubrir los requisitos de la Norma presentados en los Objetivos. La Ilustración 6 representa la metodología aplicada en este trabajo.

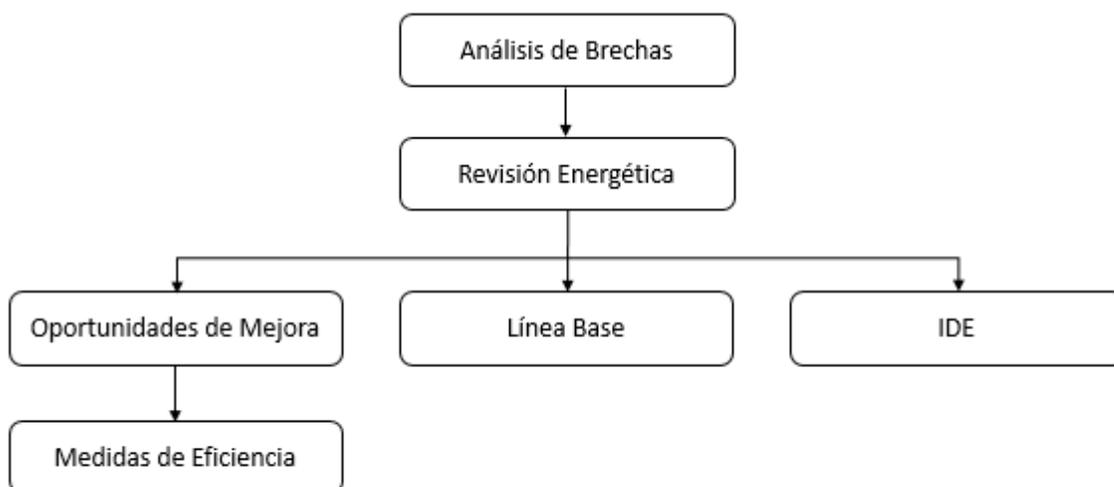


Ilustración 6 Metodología de trabajo.

En primer lugar, se recopila la información del campus relacionada con los requisitos que impone la Norma para la implementación de un SGE. Con esta información se determinan los avances y brechas existentes.

El análisis de la información anterior permite conocer los avances para la implementación de los requisitos de carácter técnico, relativos a la revisión energética. De acuerdo a esta información, se elabora un plan y se ejecuta una revisión energética en el campus.

Como resultado de la revisión energética, se identifican oportunidades de mejora de uso y consumo de energía. De estas oportunidades surge una propuesta de mejora que debe ser evaluada técnica y económicamente. Las propuestas factibles se presentan como medidas de eficiencia energética (MEE).

Durante la revisión energética también se analizan los factores que influyen en el desempeño energético del campus, dando pie para establecer tanto la línea base y como los indicadores de desempeño energético (IDE) del campus.

3.2. Plan de Trabajo

La planificación de las etapas del trabajo se realiza de acuerdo a las exigencias y plazos considerados inicialmente para la ejecución del proyecto. Debido a una gestión independiente en cada campus, se consideran plazos distintos para la ejecución de las etapas del proyecto.

El plan general de trabajo considera cuatro etapas descritas a continuación:

a) Análisis de Brechas:

- Se recopila la información documentada que sirva como antecedente para el cumplimiento de los requisitos definidos por la Norma.
- Esta información se complementa con la consulta directa al encargado del proyecto en el campus, por medio de una entrevista.
- Se determinan las brechas existentes a partir de la información recopilada y la entrevista.

b) Levantamiento de información:

- Se recopila la información correspondiente a la operación del campus, facturación y suministro de energía.
- Se realiza una auditoría energética que permita elaborar un inventario de los artefactos de uso energético existentes en el campus.

c) Análisis de Datos:

- Se analizan los datos de facturación, identificando fuentes de energía, tarifas y contratos asociados y el suministro energético histórico.
- Se estima el consumo energético del campus en base a los datos aportados por el inventario. La estimación se ajusta de acuerdo al registro de energía facturada y se determina balance energético.
- Se analizan los datos de uso energético, identificando las áreas más significativas del campus.

d) Línea base e IDE

- Con los resultados de la revisión energética, se construye una línea base adecuada al desempeño energético del campus.
- Utilizando los resultados de la revisión energética, se determinan IDE, coherentes con las características y apropiados para evaluar el desempeño del campus.

e) Medidas de Mejora:

- En base al análisis de suministro y de uso energético, se detectan oportunidades de mejora.
- De acuerdo a estas oportunidades, se proponen medidas de mejora.
- Se evalúa la factibilidad técnica y económica de las medidas propuestas. De ser factible se presenta como medida definitiva.

A continuación se presenta la Carta Gantt correspondiente a la planificación del trabajo en el Campus Sur y Campus Beauchef respectivamente.

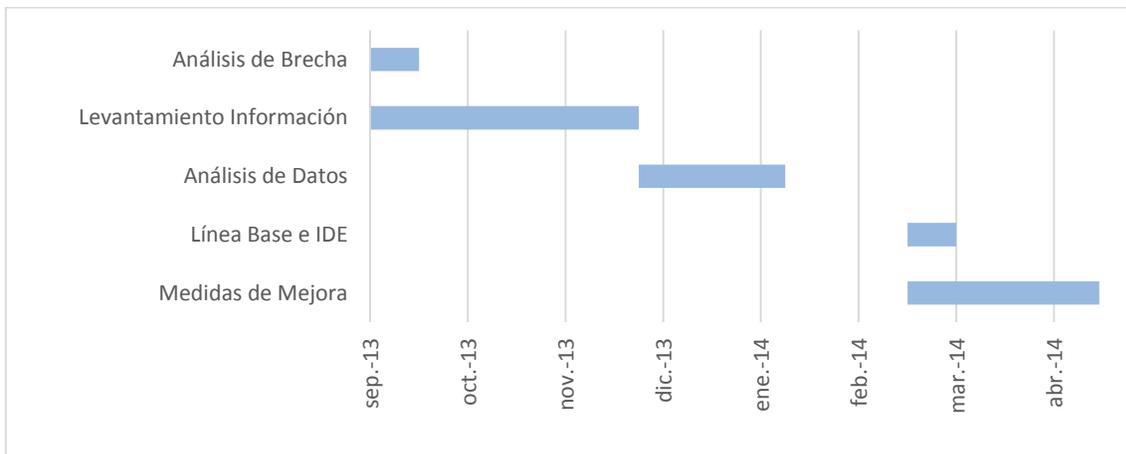


Ilustración 7 Carta Gantt trabajo Campus Sur.

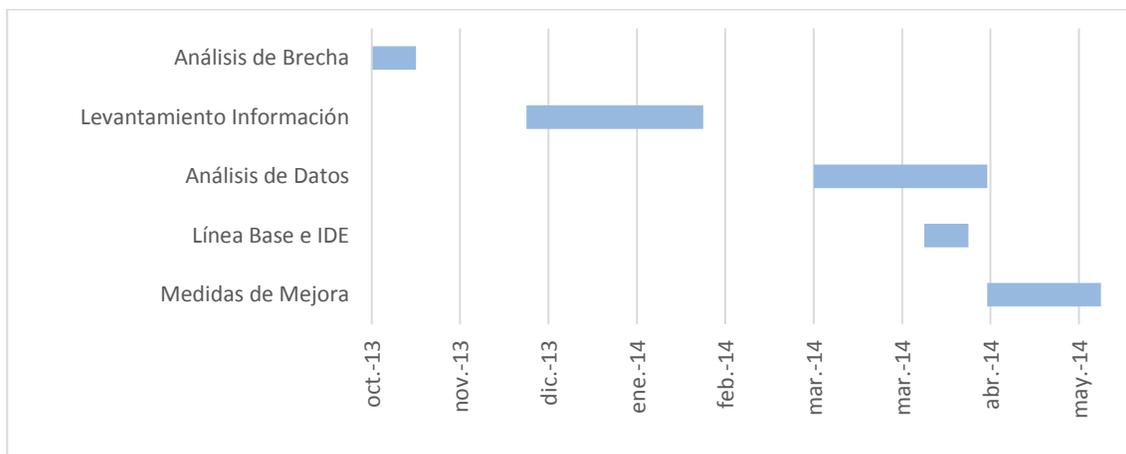


Ilustración 8 Carta Gantt trabajo Campus Beauchef.

Capítulo 4: Análisis de Brechas

En este capítulo se presenta un análisis cualitativo de las brechas existentes con respecto a la implementación de un SGE, según la norma ISO 50.001, en el Campus Sur y Campus Beauchef de la Universidad de Chile. Este análisis pretende evaluar la situación actual de cada campus y servir de guía en el proceso de implementación de un SGE.

4.1. Metodología

La metodología empleada en este análisis, que se apoya en las bases establecidas por la AChEE para la realización de un Análisis de Brechas [17], se divide en tres etapas que se presentan a continuación.

- **Levantamiento de información:** se recopila la información publicada que se relacione con el cumplimiento de los requisitos que establece la Norma.
- **Verificación de la información:** Se entrevista al encargado del proyecto para verificar la información recopilada y obtener más información.
- **Identificación de Brechas:** se analiza la información anterior buscando identificar las brechas existentes en cada campus.
- **Evaluación de situación actual:** se califica a cada campus de acuerdo a las brechas identificadas y la satisfacción de los requisitos expuestos en la Norma.

La evaluación del campus considera la condición energética actual de la organización de acuerdo a la factibilidad de satisfacer el requisito. Para esto se utiliza el siguiente criterio de evaluación.

Clave	Criterio	Descripción
A	Logrado	El requisito ya se encuentra implementado.
B	Incompleto	La satisfacción del requisito es incompleta. Se requiere mayor desarrollo de elemento(s) existente(s).
C	Viable	Resulta factible satisfacer el requisito, mas no se ha avanzado en el cumplimiento de éste.
D	Inviable	Las condiciones actuales no permiten la satisfacción del requisito.

Tabla 3 Criterio aplicado en la evaluación de requisitos de la Norma.

4.2. Resultados

4.2.1. Identificación de Brechas

El propósito de la identificación de brechas es generar una visión general del campus, facilitando la planificación para la implementación de un SGE. Dado que ésta es la primera vez que se intenta implementar un SGE, no es de extrañar que la mayoría de los requisitos no se hayan satisfecho. No obstante, este análisis permite identificar aquellos elementos que se pueden integrar al proyecto.

A continuación se presentan las principales brechas identificadas en cada campus. Un análisis más detallado se puede encontrar en el el Anexo 2.

Requisito		Brechas Identificadas	
		Campus Sur	Campus Beauchef
4.1	Requerimientos generales	Falta definir alcances y mecanismos para implementar un SGE.	Falta definir alcances y mecanismos para implementar un SGE.
4.2	Responsabilidad de la dirección	Falta designar un representante de encargado de la gestión energética.	-
4.3	Política energética	No existe política energética.	Si bien existe una política de sustentabilidad, no es específica en cuanto a la gestión de la energía.
4.4	Planificación energética	No se ha ejecutado una planificación energética o algún procedimiento similar.	Si bien se han ejecutado acciones aisladas, éstas no poseen un carácter integral de planificación.
4.5	Implementación y operación	No se ha capacitado al personal. No se han implementado medidas consistentes con la planificación.	Si bien se han ejecutado acciones aisladas, éstas no derivan de un proceso de planificación. No se ha capacitado al personal.
4.6	Verificación	No existe plan de medición. No se ha verificado el ahorro de otras medidas.	No existe plan de medición.
4.7	Revisión de la gerencia	No existe metodología de revisión.	-

Tabla 4 Brechas identificadas en Campus Sur y Campus Beauchef.

4.2.2. Evaluación del Campus

De acuerdo con la metodología presentada y las brechas identificadas anteriormente, se presenta a continuación la evaluación de la situación de cada campus en cuanto a la satisfacción de los requisitos para la implementación de un SGE según la Norma.

Requisito		Campus Sur	Campus Beauchef
4.1	Requerimientos generales		
	Generalidades	C	C
4.2	Responsabilidad de la dirección		
4.2.1	Alta dirección	B	B
4.2.2	Representante de la dirección	D	B
4.3	Política energética		
	Generalidades	C	C
4.4	Planificación energética		
4.4.1	Generalidades	B	B
4.4.2	Requerimientos legales y otros requisitos	C	C
4.4.3	Revisión energética	C	C
4.4.4	Línea base de energía	C	C
4.4.5	Indicadores de desempeño energético	C	C
4.4.6	Objetivos energéticos, metas energéticas y plan de acción de gestión de la energía	C	C
4.5	Implementación y operación		
4.5.1	Generalidades	C	C
4.5.2	Competencias, formación y toma de conciencia	B	C
4.5.3	Comunicación	C	C
4.5.4	Documentación	C	C
4.5.5	Control operacional	D	D
4.5.6	Diseño	B	C
4.5.7	Adquisición de servicios de energía, productos, equipos y energía	C	C
4.6	Verificación		
4.6.1	Seguimiento, medición y análisis	C	C
4.6.2	Evaluación de cumplimiento con los requerimientos legales y otros requisitos	D	D
4.6.3	Auditoría interna del SGE	D	C
4.6.4	No conformidades, corrección, acción correctiva y acción preventiva	D	D
4.6.5	Control de registros	D	D
4.7	Revisión de la gerencia		
4.7.1	Generalidades	D	C
4.7.2	Información de entrada para la revisión por la dirección	D	C
4.7.3	Resultados de la revisión por la dirección	D	C

Tabla 5 Evaluación de Brechas en Campus Sur y Campus Beauchef.

Los resultados del análisis de brechas muestran que, en general, resulta viable la implementación de un SGE en ambos campus. No obstante, se advierte que el Campus Beauchef se encuentra mejor calificado, debido principalmente al establecimiento de una unidad encargada de los aspectos relacionados con la eficiencia energética. La designación de un representante y el establecimiento de una unidad encargada de la gestión energética son cruciales para dar continuidad al proyecto.

La AChEE establece dentro de este análisis una última etapa, correspondiente a la planificación del cierre de brechas. Este punto no fue abordado en el análisis anterior, por lo que se deja propuesto como trabajo futuro.

Por último, la mayor parte de este trabajo de memoria se centra en la implementación de los requisitos técnicos correspondientes al punto *4.4. Planificación Energética* definido en la Norma. El análisis anterior sirve como punto de partida para establecer cuáles son los avances de cada campus en el cumplimiento de estos requisitos y planificar el trabajo posterior.

Capítulo 5: Revisión Energética

A continuación se presentan los resultados de la implementación de una revisión energética en el Campus Sur y Campus Beauchef, de acuerdo a la estructura definida en la Norma.

Este capítulo se estructura de acuerdo a lo siguiente: se presenta en primer lugar la metodología empleada, y luego los resultados de la revisión, diferenciando entre Campus Sur y Campus Beauchef.

5.1. Metodología

La metodología de la revisión energética se muestra a continuación.

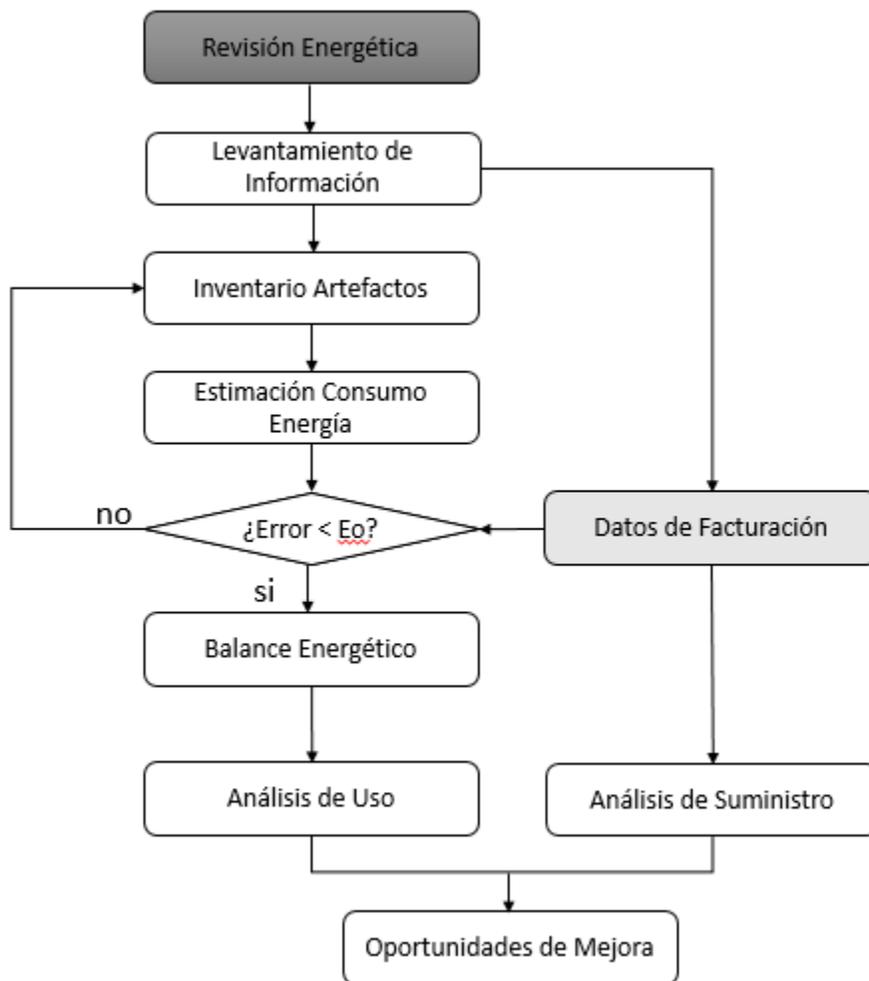


Ilustración 9 Metodología de revisión energética.

La revisión energética comienza con el levantamiento de la información, que se enfoca en datos relativos a:

- Organización y operación del campus.
- Suministro y flujos de energía.
- Uso de la energía.

Parte de la información recopilada se utiliza en la elaboración de un inventario de artefactos de consumo energético, que considera los puntos necesarios para precisar su ubicación, tipo artefacto, potencia nominal, factor de carga y tiempo de uso.

La tipología considerada para la clasificación de artefactos en el inventario se muestra en la tabla inferior.

Tipo	Sub-tipo	Tipo	Sub-tipo
Iluminación	Incandescente	Oficina	Multifuncional
	Fluorescente		Otros
	Halógenas	Cocina	Horno
	Otros		Cocina
	Cafetera		
Calefacción	Gas Cilindro	Climatización	Otros
	Gas Cañería		A/C
	Eléctrica		Ventilador
	Otros	Otros	
Computación	Notebook	Refrigeración	Refrigerador
	De escritorio		Congelador
	Otros		Otros
Oficina	Fotocopiadora	Laboratorio	-
	Impresora		-
	Escáner	Otros	-

Tabla 6 Tipología aplicada en el inventario de artefactos energéticos.

Por otro lado, la localización de los artefactos en el inventario requiere de una zonificación del campus, que distinga de manera sencilla cada sector del campus. Las zonas determinadas en el Campus Sur y Campus Beauchef se presentan en la Ilustración 10 e Ilustración 11.

A partir de este inventario se puede estimar la cantidad de energía consumida por los artefactos inspeccionados en un período de referencia (en este caso, se estimó anualmente). La estimación del consumo de energía de cada artefacto se obtiene como el

producto de la potencia nominal, tiempo de uso (anual) y factor de carga (o ajuste) correspondiente. La energía estimada se contrasta con el valor del consumo energético registrado en la facturación correspondiente al período de referencia, aceptándose la estimación si se incurre en un error menor a un umbral determinado, E_o (en este caso se utilizó $E_o = 5\%$).

Una vez ajustada la estimación del consumo energética, se obtiene un Balance Energético, que caracteriza el consumo energético del campus. A partir de este balance y la información levantada inicialmente, se desprenden análisis de uso de energía y análisis de suministro de energía, los que dan lugar a la detección de oportunidades de mejora.



Ilustración 10 Zonificación del Campus Sur.



Ilustración 11 Zonificación del Campus Beauchef.

5.2. Campus Sur

La revisión energética requirió de la ejecución de una inspección de los recintos del campus que entregara información del uso de la energía en el campus. Esta inspección se planificó de manera que pudiera ser ejecutada por estudiantes del campus, sin experiencia en esta tarea.

La inspección recopiló la información de 9.155 artefactos, distribuidos en todos los sectores considerados. Se debió suponer la cantidad de algunos artefactos en dos recintos del campus, para lo cual se consideró la superficie de estos y la naturaleza y cantidad de bienes existentes en recintos donde se desarrollan actividades similares.

5.2.1. Alcances

Los alcances de la Revisión Energética en el campus se definieron en conjunto con los representantes de +Energía, tomando en consideración la realización del proyecto dentro de los plazos estipulados.

5.2.1.1. Alcances Generales

El análisis del suministro y uso energético se limita a la disponibilidad y detalle de la información existente. Esto quiere decir:

- Se toma como período de referencia al tiempo transcurrido entre Enero y Diciembre del 2012.
- El análisis considera el desempeño energético anual del campus.
- Se asume una variación mínima entre los regímenes de consumo y existencias materiales entre el período de referencia, año 2012, y el año de ejecución de la revisión.

5.2.1.2. Alcances Geográficos

La revisión energética se limita a las instalaciones del Campus Sur ubicadas en la comuna de La Pintana. Los sectores agrícolas del Campus Sur no se consideran en el estudio, debido al bajo consumo energético que podrían representar y la dificultad de cubrir el área. El límite de medida del estudio se presenta, demarcado en rojo, en la Ilustración 12.



Ilustración 12 Límite físico del estudio (demarcado por el rectángulo rojo).

5.2.1.3. Alcances de Información

La información considerada en la elaboración de este estudio se presenta a continuación:

- Datos de facturación eléctrica, correspondiente al período de Enero del 2010 hasta Diciembre del 2013, entregados por la empresa eléctrica.
- Datos de facturación de suministro de gas del año 2012, provisto por las unidades administrativas respectivas.
- Esquema de alimentación eléctrica de edificios desde los empalmes, provisto por las unidades administrativas respectivas.

- Información de superficie construida, provista por la administración del Campus Sur.
- Planos de arquitectura, provistos por la administración del Campus Sur.

5.2.2. Balance Energético

El Balance Energético se obtuvo del ajuste entre los datos de suministro de energía y el consumo estimado de energía a partir del inventario de artefactos energéticos. El ajuste de los datos consideró parámetros estándares de Ciclos de Trabajo y Coeficiente de Desempeño (COP)² para la estimación del consumo de algunos artefactos. Los resultados del Balance se muestran en la Tabla 7.

Energético	Suministro Facturado	Consumo Estimado	Error de Ajuste
	MWh/año	MWh/año	%
Electricidad	2.606,7	2.533,6	-2,8
Gas	516,5	536,2	3,8
Total	3.123,2	3.069,8	-1,7

Tabla 7 Ajuste del Balance Energético.

El error de ajuste entre los datos de suministro y la estimación del consumo bordea el 2%, por lo que se acepta la estimación del consumo.

5.2.3. Análisis de Suministro

El análisis de suministro energético consideró los datos de suministro definidos en los alcances de la revisión.

Durante la revisión energética, se identificaron dos fuentes de energía: electricidad y gas (gas licuado de petróleo o GLP). El Gráfico 1 presenta el suministro energético, en kWh, en el Campus Sur durante el período de referencia. Se puede observar un suministro predominantemente eléctrico.

En tanto, en el Gráfico 2 se muestra la distribución del suministro y del costo de suministro energético por facultad. Se observa que la facultad de Agronomía representa más de la mitad del suministro energético del Campus Sur.

²COP (*Coefficient of Performance*), para artefactos que realicen ciclos de conversión térmica como equipos de refrigeración y de aire acondicionado.

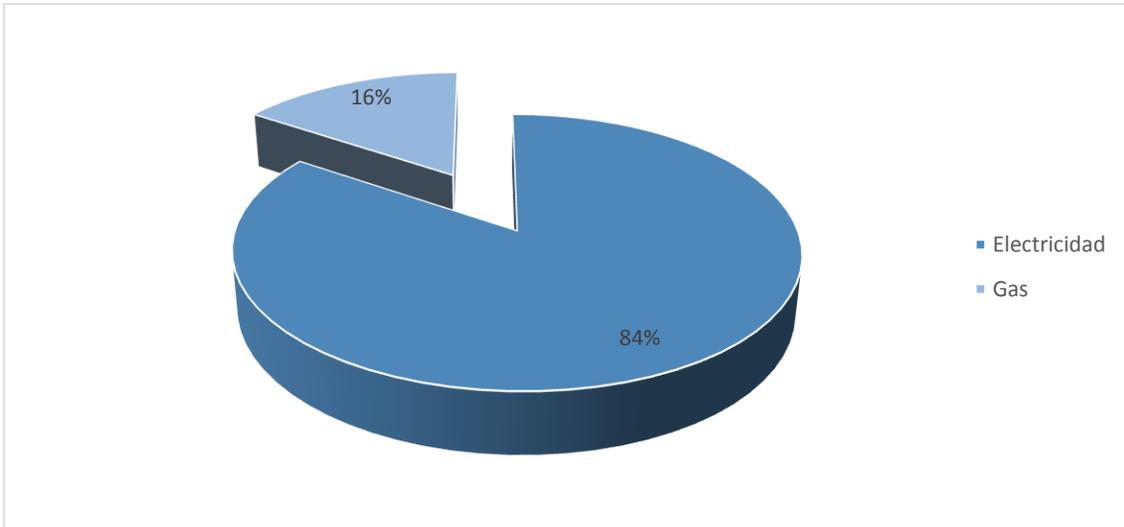


Gráfico 1 Datos de Facturación de Electricidad y Gas año 2012, Campus Sur.

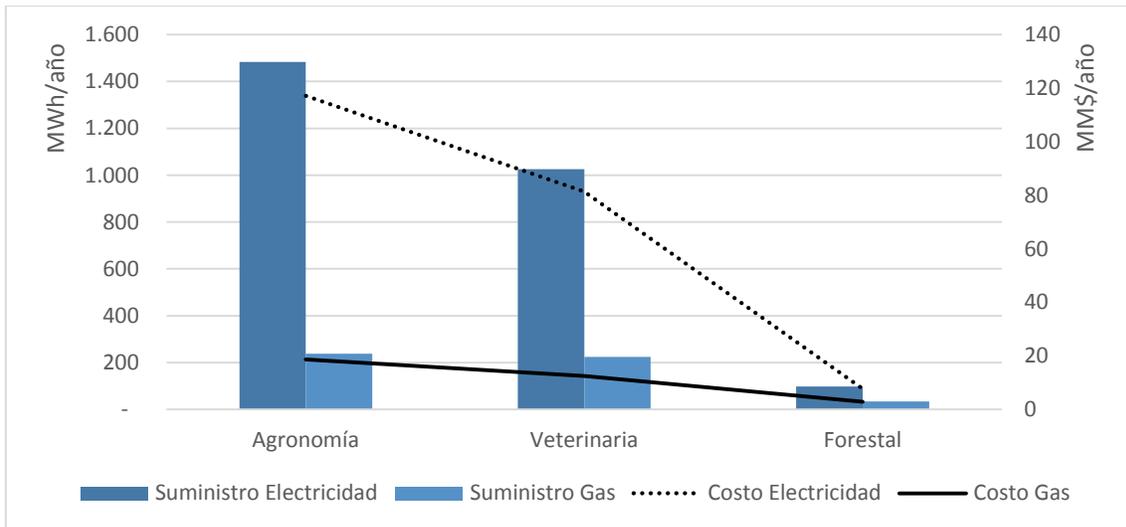


Gráfico 2 Facturación de Energéticos por Facultad, año 2012

En el Gráfico 3 se presenta el valor promedio pagado por kWh de energía durante el 2012 por tipo de energético. El valor de la energía eléctrica fue estimado como un precio *monómico*³. Del gráfico se advierten diferencias en el costo del gas a granel pagado por cada facultad. Por otro lado, se observa una diferencia considerable en el costo del kWh entre el gas a granel y el gas en cilindro.

³ Se utiliza este término debido a la analogía del cálculo. La estimación del valor de la energía consideró la facturación total anual, incluyendo cargos financieros y de otra clase, para establecer una razón entre la facturación total y los kWh registrados en el año.

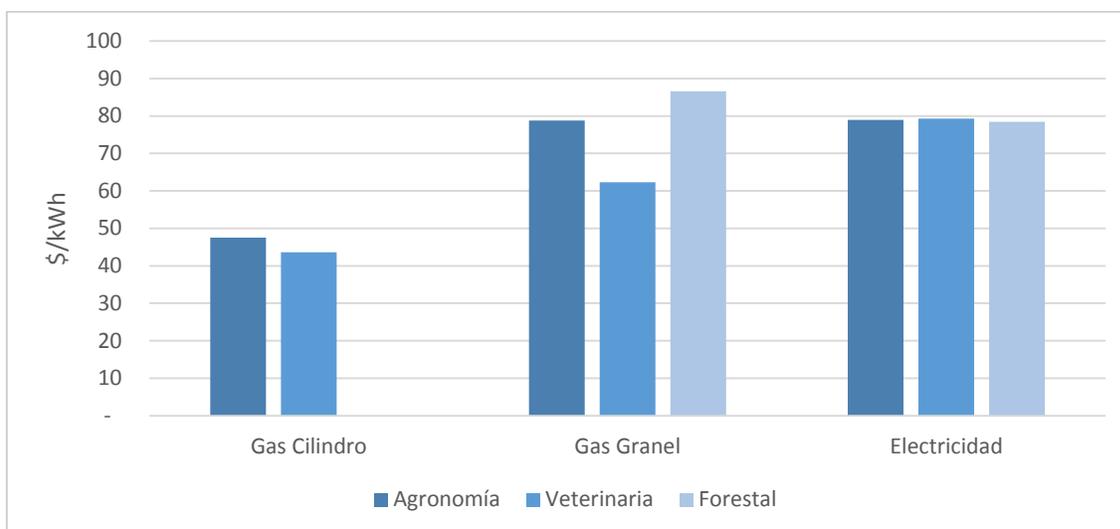


Gráfico 3 Valor promedio de la energía de acuerdo al tipo de suministro durante el año 2012.

5.2.3.1. Electricidad

El suministro de electricidad en el campus se realiza a través de dos empalmes correspondientes a los clientes Veterinaria, y el conjunto de Agronomía y Forestal, el cual se denominará Antumapu. Los datos de suministro correspondientes al período de referencia definido anteriormente (año 2012) se muestran a continuación:

Ítem	Veterinaria	Antumapu
Compañía Concesionaria	CGED	CGED
Asignado a S/E:	Sta. Rosa Sur	Isla de Maipo
Tarifa	AT4.3	AT3 PPP
Consumo Energía (kWh/año)	1.026.365	1.580.401
Demanda Máx. (kW)	193 HP ⁴ / 346 FHP ⁵	584
Demanda Promedio (kW)	177 HP / 327 FHP	441
Facturación (\$/año)	74.109.700	124.739.600

Tabla 8 Datos de Suministro de Electricidad

En el Gráfico 4 se presenta la evolución del suministro de electricidad en el campus en los últimos 4 años. En este período, se puede observar un aumento en el suministro de electricidad de hasta 300 MW, lo que equivale a un 13% con respecto al valor registrado el

⁴ HP refiere a horas de punta del sistema eléctrico que corresponden al período comprendido entre las 18:00 y las 23:00 hrs de los meses de Abril a Septiembre en el Sistema Interconectado Central.

⁵ FHP corresponde a *fuera de horas punta*. El horario fuera de punta se entiende como el período que no corresponde a horas de punta.

2010. A partir de lo anterior, se puede postular una tasa de variación anual del consumo energético en torno al 4%.

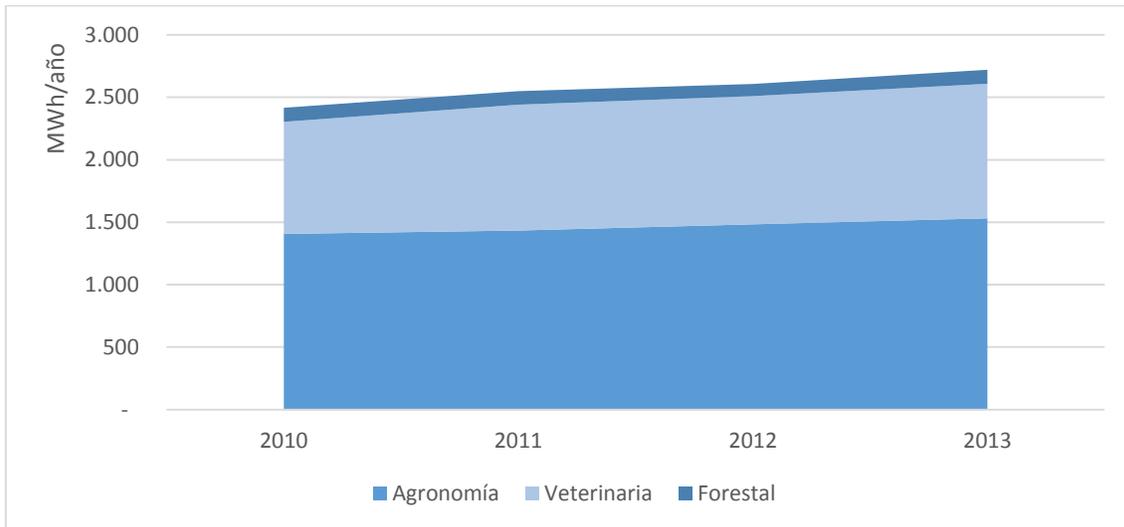


Gráfico 4 Suministro de electricidad anual en el Campus, entre el 2010 y el 2013.

El Gráfico 5 presenta el total anual facturado por suministro de electricidad en los empalmes Veterinaria y Antumapu, desde el año 2000 al 2013. Se observa un ascenso sostenido en el monto facturado hasta el año 2009, momento en que empieza a decrecer la facturación, lo que contrasta con el aumento del suministro observado en el Gráfico 4. Esta reducción se atribuye a un descenso en el valor de la energía, debido a la tendencia a la baja de algunos indexadores del precio de la energía en los últimos años [21].

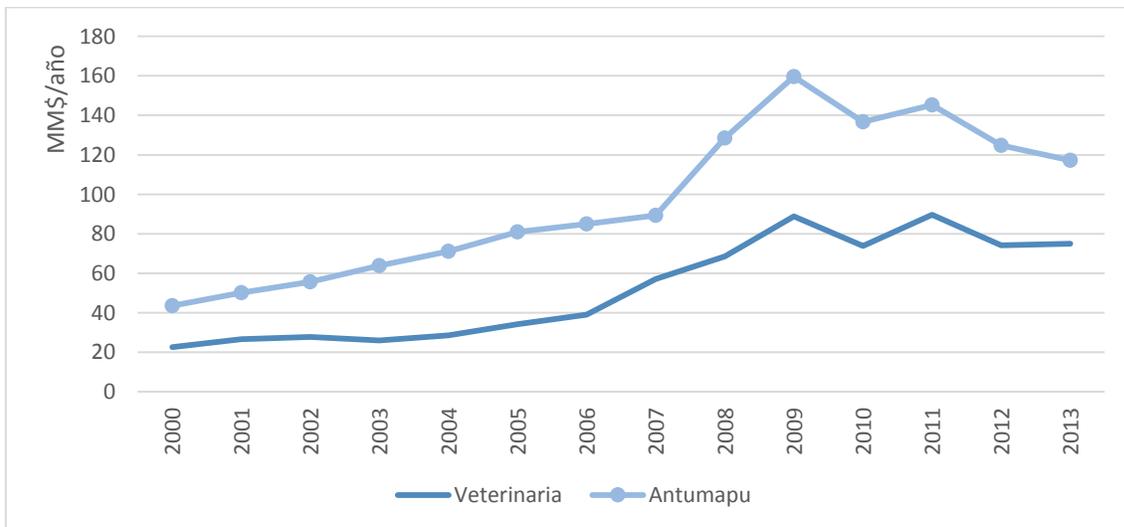


Gráfico 5 Facturación anual por electricidad en los empalmes Antumapu y Veterinaria.

5.2.3.2. Gas

En el Gráfico 6 se observa la utilización del gas de acuerdo a los datos registrados en la facturación del 2014. Según el gráfico, la mayor parte del gas se suministra a los tanques de cada facultad, lo que corresponde al suministro a granel.

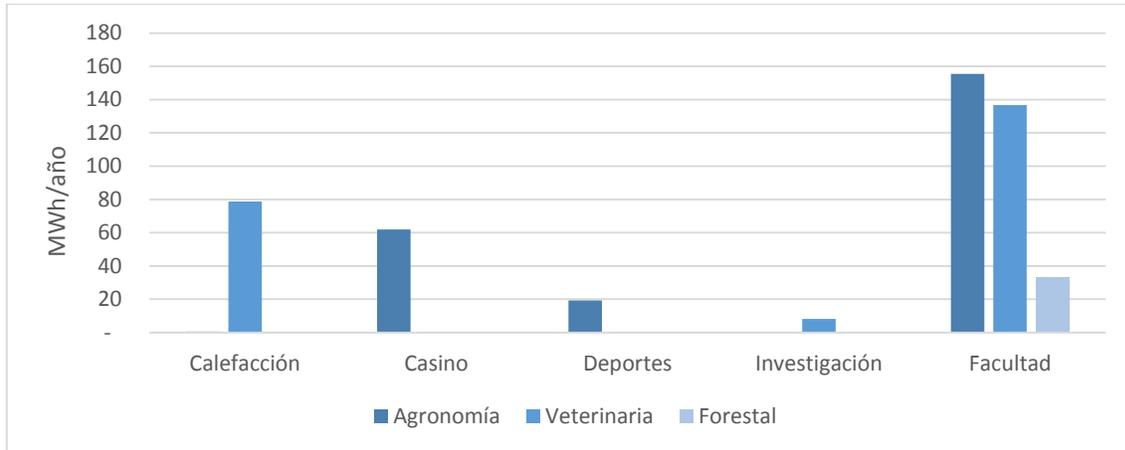


Gráfico 6 Destino del suministro de gas por facultad, año 2012.

Durante la revisión sólo se pudo obtener información de suministro de gas correspondiente al año 2012. El análisis de tendencia abarca sólo este año.

En el Gráfico 7 se presenta el suministro de gas agregado por facultad de acuerdo a la fecha de facturación. Se puede advertir un suministro importante de gas durante los meses de invierno, por lo que se presume que el gas se utiliza para calefaccionar el campus.

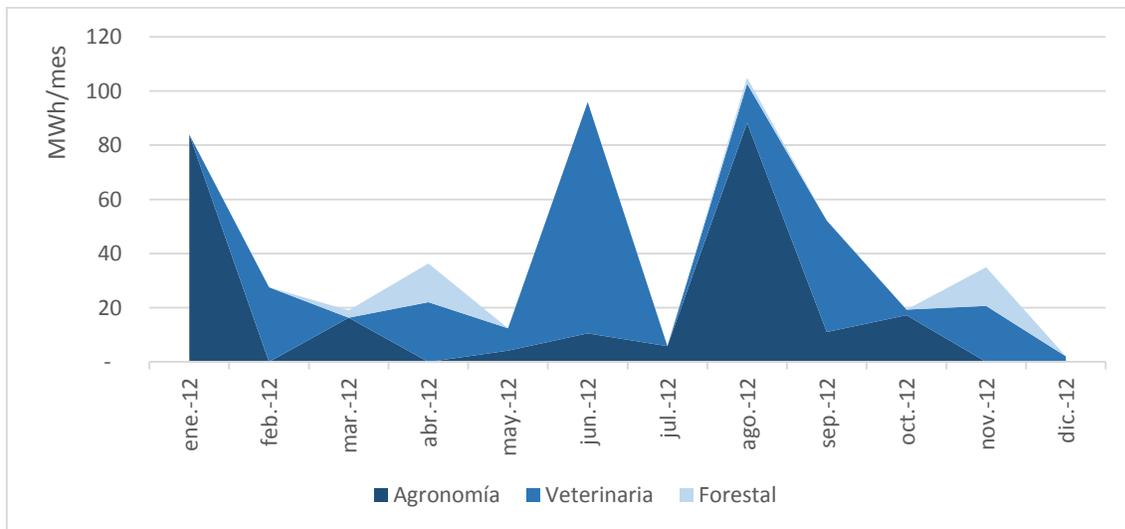


Gráfico 7 Suministro mensual de gas durante el 2012.

5.2.4. Análisis de Uso Energético

A partir de los datos del inventario de artefactos energéticos, se analizó la información buscando identificar los consumos más relevantes en el campus.

Cabe señalar que, dada una administración dependiente de cada facultad de los edificios inspeccionados, la zonificación diseñada inicialmente prestó poca utilidad. Por tanto se prefirió la identificación de los recintos de acuerdo a la facultad a la que pertenecen.

A continuación se presentan los resultados del análisis de uso de energía de manera general para el campus, y de manera específica, analizando el uso energético en cada facultad.

5.2.4.1. Análisis General

A continuación se analiza el uso energético por sistema energético, representados según la tipología de artefacto. En el Gráfico 8 se presentan los edificios con mayor consumo energético en el Campus Sur. Se observa que en 4 de los 5 edificios que superan los 200 MWh al año se desarrollan principalmente actividades de investigación en laboratorios.

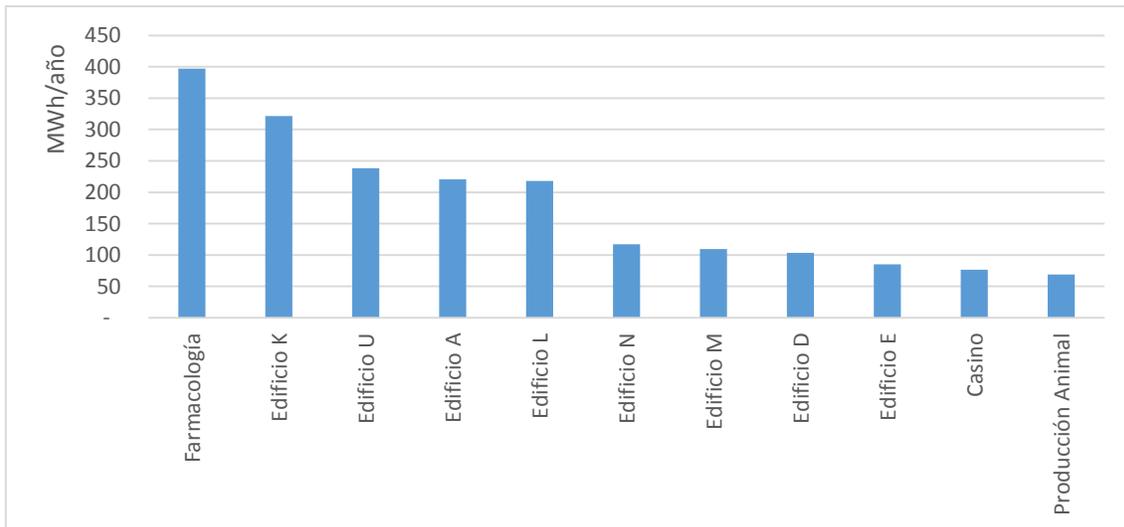


Gráfico 8 Edificios con mayor consumo energético, Campus Sur.

La distribución del consumo energético por tipo de artefacto se presenta en Gráfico 9. En el gráfico se puede observar que el mayor consumo energético corresponde a los artefactos de climatización, laboratorio, calefacción, refrigeración e iluminación, los que representan el 82% del consumo total del campus.

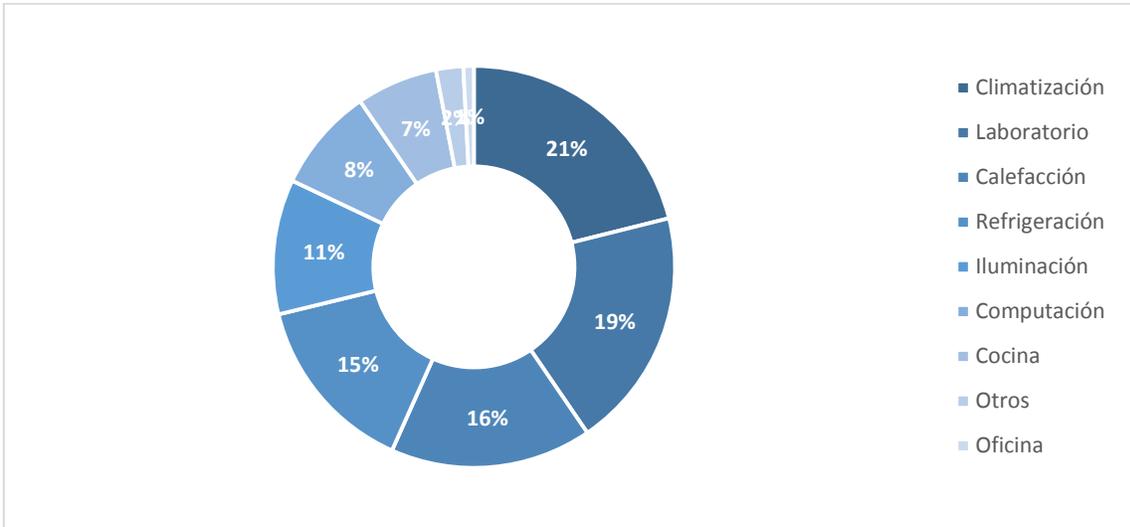


Gráfico 9 Distribución de consumo por tipo de artefacto, Campus Sur.

En el Gráfico 10 se presenta el consumo energético por tipo de artefacto en cada facultad. Se puede observar que la mayor fuente de consumo energético en Agronomía corresponde al uso de equipos de climatización, mientras que en Veterinaria corresponde al uso de equipos de laboratorio.

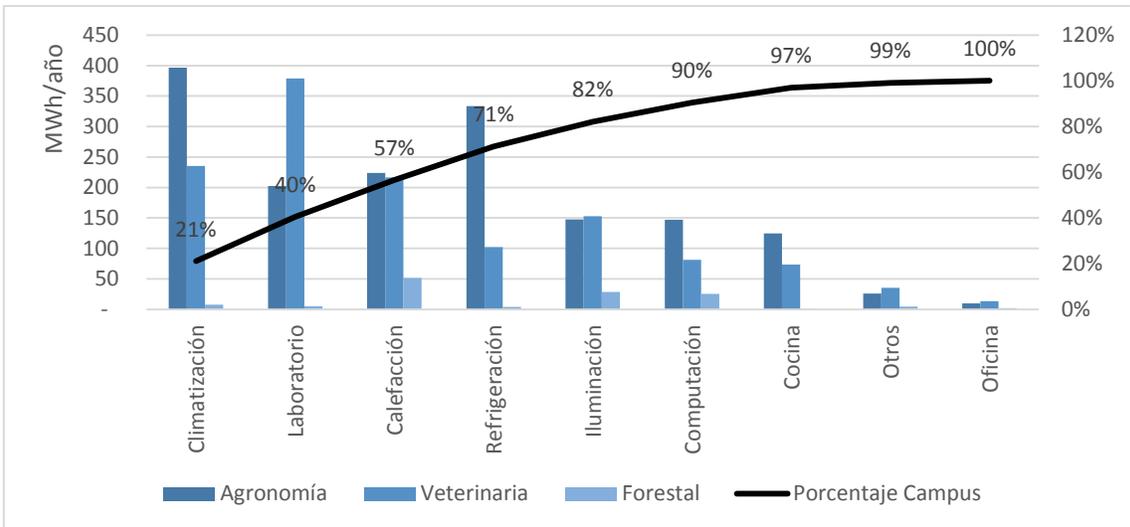


Gráfico 10 Consumo energético por tipo de artefacto, Campus.

5.2.4.2. Análisis Específico

A continuación se analiza el uso de energía en base a la información proporcionada por el inventario de artefactos energéticos, identificando los recintos y equipos que representan el mayor consumo energético en cada facultad.

Ciencias Agronómicas

La distribución del consumo energético por edificio se muestra en el Gráfico 11. Se puede observar que los edificios K, L, U y A representan la mayor parte del consumo energético de la facultad.

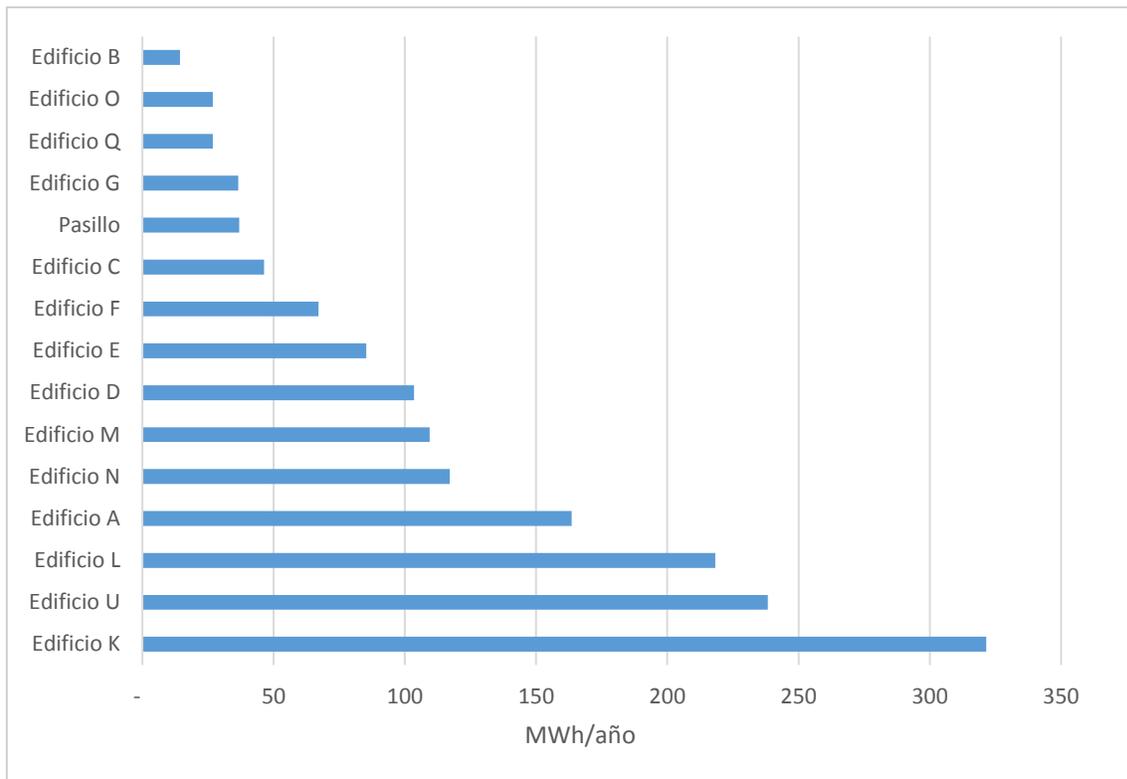


Gráfico 11 Consumo energético por edificio, Agronomía.

La distribución del consumo energético por tipo de artefacto en Agronomía se puede observar en el Gráfico 12. Se advierte que los equipos de climatización, refrigeración, calefacción y laboratorio son responsables del 72% del consumo energético de la facultad.

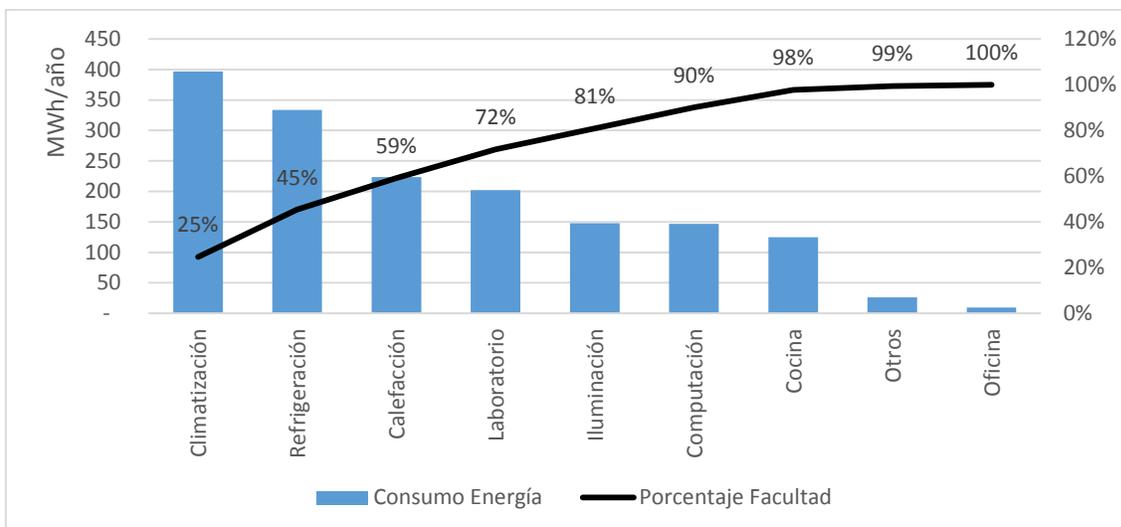


Gráfico 12 Distribución del consumo energético por tipo de artefacto, Agronomía.

El Gráfico 13 muestra la distribución del consumo energético, y su costo asociado⁶, por tipo de artefacto. Se observa que los equipos que concentran el mayor consumo energético significan un costo de 95 MM\$ al año.

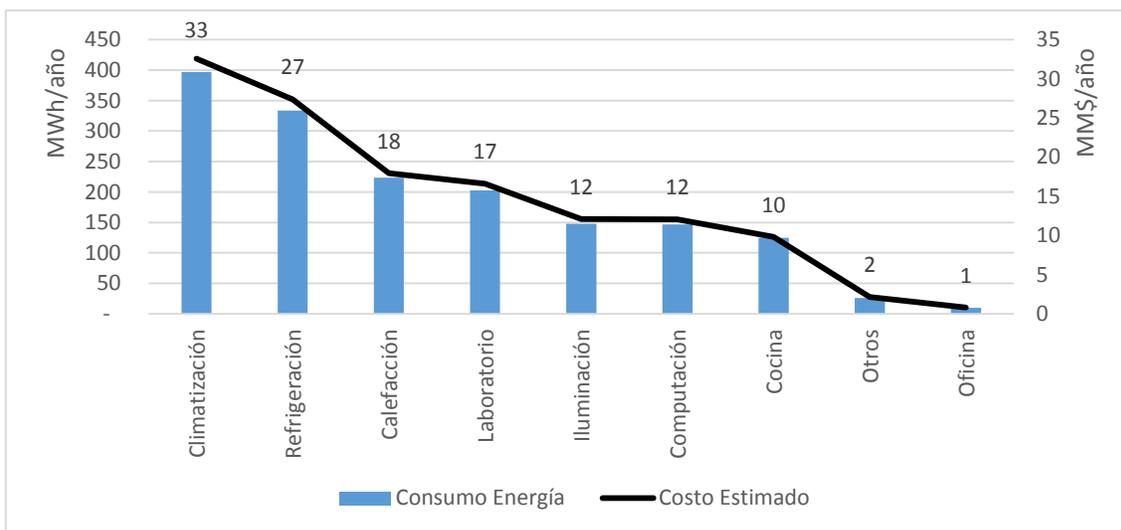


Gráfico 13 Consumo energético y costo estimado del consumo por tipo de artefacto, Agronomía.

Ciencias Veterinarias y Pecuarias

En el Gráfico 14 se presentan los recintos con mayor consumo energético, que en suma representan el 70% del total de la facultad. Se puede observar que Farmacología consume cerca de 400 MWh/año, equivalente al 30% del consumo total de la Facultad.

⁶ El costo asociado se estimó del costo promedio por suministro de gas y el precio monómico de la electricidad correspondientes al año 2012.

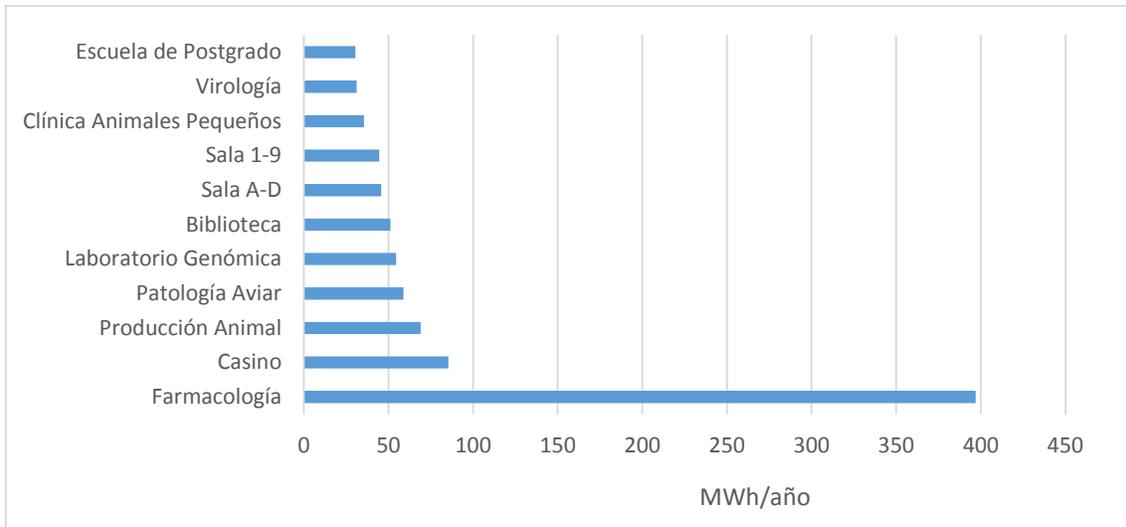


Gráfico 14 Consumo de energía por recinto, Veterinaria.

La distribución general del consumo energético en Veterinaria se puede observar en el Gráfico 15. Se advierte que los equipos de laboratorio, climatización, calefacción e iluminación representan la mayor parte del consumo energético, alcanzando en suma el 76% del consumo energético de la facultad.

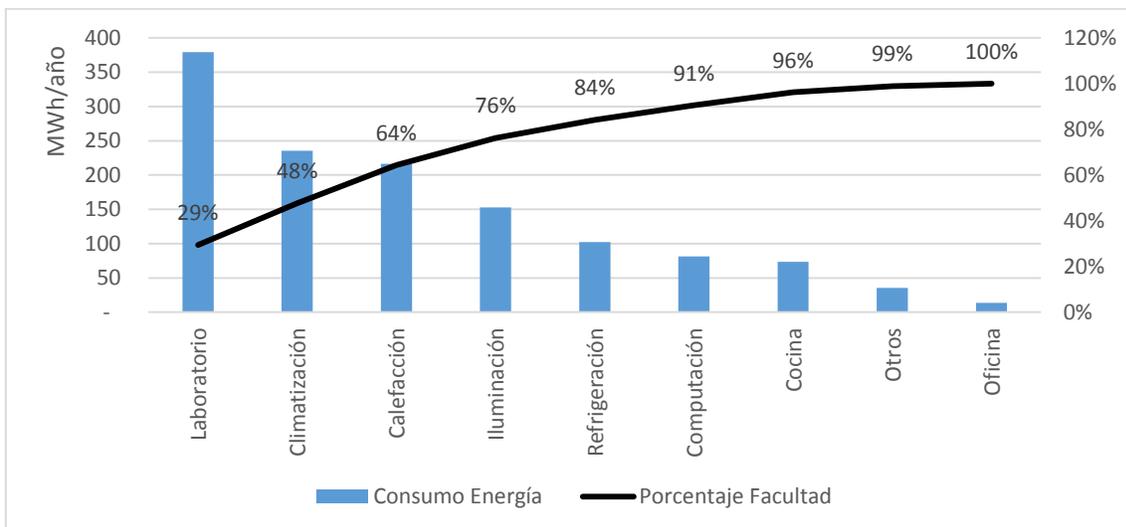


Gráfico 15 Distribución del consumo energético en Veterinaria.

La distribución del consumo energético de los artefactos, y su costo asociado⁷, se muestra en el Gráfico 16. Se puede observar en el gráfico que el costo estimado del uso de equipos de laboratorios representa cerca de un tercio del costo energético total de la facultad.

⁷ Costo estimado del costo promedio de GAS y el costo monómico de la electricidad durante el 2012.

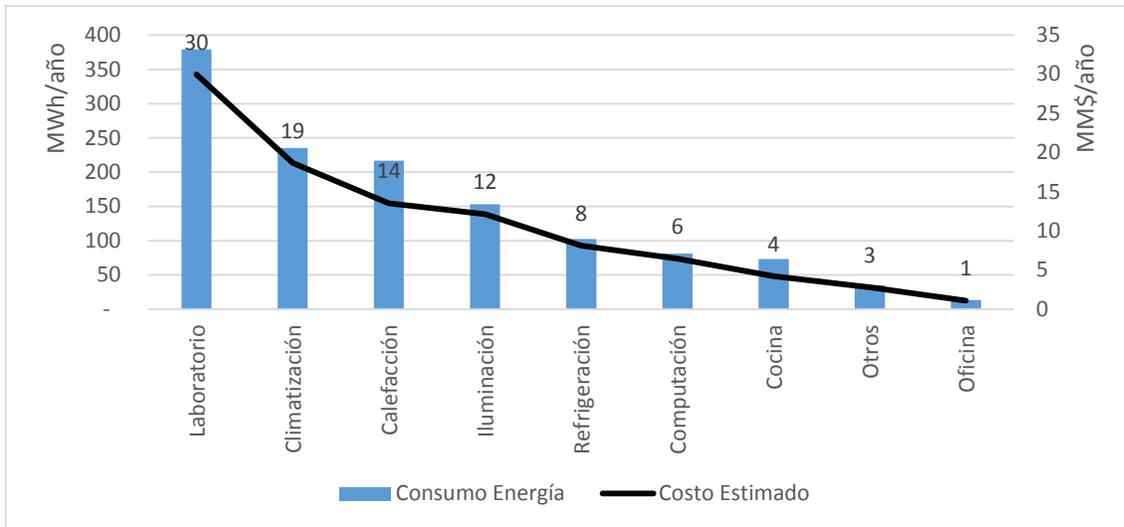


Gráfico 16 Consumo y costo energético estimado según Artefacto, Veterinaria.

Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza

El Gráfico 17 presenta la distribución del consumo energético por edificio. De la figura se desprende que el mayor consumo se encuentra en el Edificio A, que alberga principalmente oficinas.

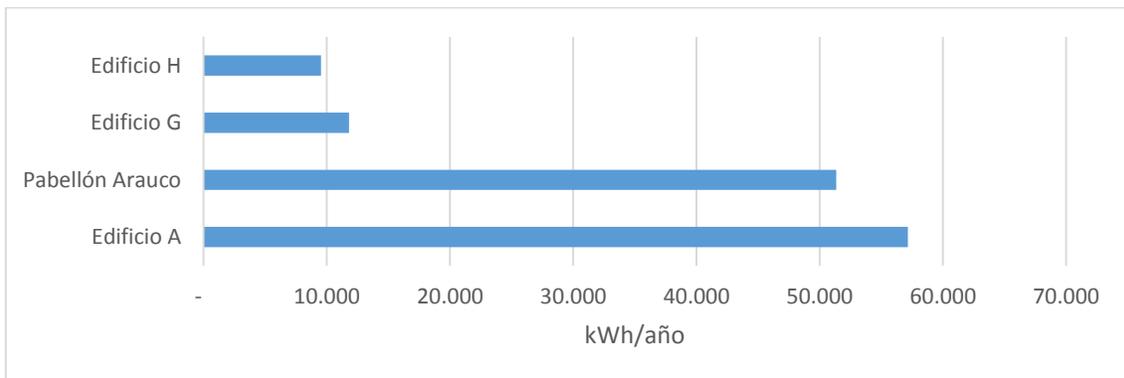


Gráfico 17 Consumo de energía por edificio, Forestal.

El Gráfico 18 muestra la distribución por consumo energético de esta facultad por tipo de artefacto. Se observa que el mayor consumo energético corresponde a calefacción, equivalente al 40% del consumo total de Forestal.

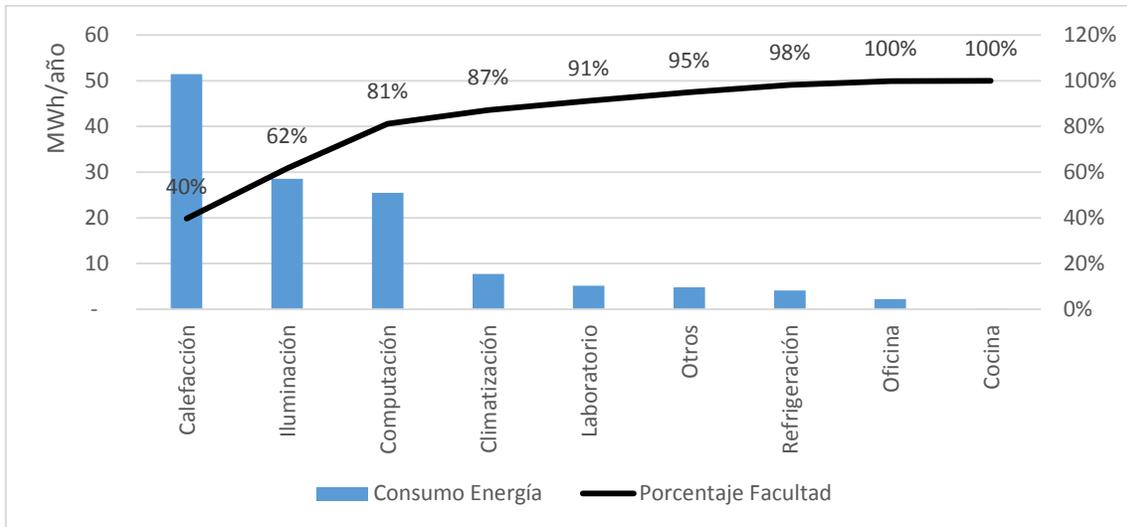


Gráfico 18 Distribución del consumo energético en Forestal.

El Gráfico 19 presenta la distribución del consumo energético y la estimación del costo⁸ del consumo para cada artefacto. Los costos fueron estimados en base al costo monómico de electricidad y costo promedio de gas correspondiente al año 2012.

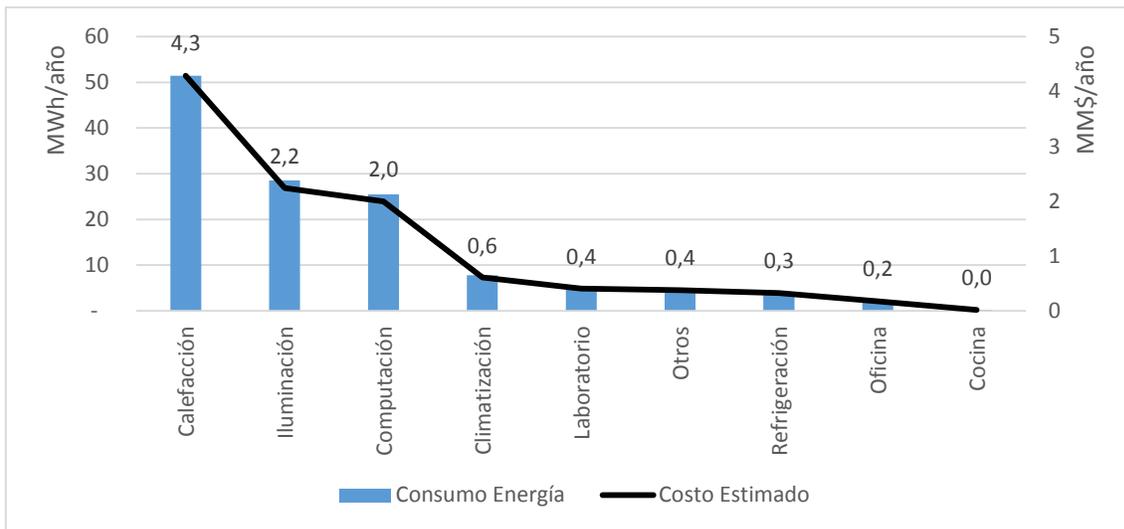


Gráfico 19 Consumo y costo energético estimado según Artefacto, Forestal.

De la figura anterior se desprende que los tres consumos energéticos más relevantes se deben al uso de artefactos de calefacción, iluminación y computación. De lo anterior se infiere que el consumo energético en la facultad se encuentra mayormente relacionado al desarrollo de actividades administrativas y docentes.

⁸ Costo estimado del costo promedio de GAS y el costo monómico de la electricidad durante el 2012.

5.2.5. Detección de Oportunidades de Mejora

En lo siguiente se presentan las oportunidades de mejora identificadas en el suministro y uso de la energía para cada facultad.

5.2.5.1. Oportunidades detectadas en el Suministro

El mayor suministro de energía corresponde al suministro de electricidad, en particular el realizado a través del empalme Antumapu. Este suministro posee una tarifa AT3 PPP que no considera la variación horaria de la demanda. Dado el horario de funcionamiento de las facultades alimentadas por este empalme (Agronomía y Forestal), se simuló el costo de suministro utilizando una tarifa alternativa entre Enero del 2010 y Diciembre del 2012. La alternativa simulada corresponde a la tarifa AT4.3, debido principalmente a un cargo diferenciado por demanda horaria, para lo que se aplicaron distintos supuestos para el valor de la demanda en horario punta.

Los resultados de la simulación arrojaron que un cambio de la tarifa actual, AT3 PPP, a la tarifa alternativa, AT4.3, resulta conveniente si la demanda en hora punta no supera el 75% del valor registrado para la demanda fuera de punta. Si se asume una situación similar a la registrada en el empalme Veterinaria, donde la demanda en hora punta es en torno al 55% del valor de la demanda fuera de punta, se registra una disminución en la facturación mensual por sobre los \$500.000.

En cuanto al empalme Veterinaria, la simulación de cargos tarifarios arrojó que no resulta conveniente un cambio a una tarifa AT3. Por otro lado, la tarifa actual, AT4.3, permite realizar ahorros en la facturación por suministro a través del desplazamiento horario de la demanda. A partir de la información recopilada en el inventario, se determinó la potencia instalada y la demanda instantánea de aquellos equipos que podrían operar durante las horas de punta en la facultad de Veterinaria. Con esto se estimó un potencial de reducción de la demanda en hora punta que va desde los 40 kW a los 130 kW, lo que resulta en un ahorro económico anual que va entre los 3 y 9 MM\$.

Por otro lado, se observaron diferencias en el costo del suministro de gas entre las distintas facultades del campus y el costo por unidad de energía entre gas en cilindro y a granel. La facultad que presenta el menor costo de suministro por kWh de gas corresponde a Veterinaria. Así también se observó que, para todas las facultades, se tiene menor costo de suministro por kWh de gas en su versión cilindro que el costo que representa el

abastecimiento a granel. Respecto a esto último, se recomienda revisar la facturación total anual de ambos suministros y verificar estos resultados.

A continuación se presentan las oportunidades identificadas en el suministro de energía de cada facultad del campus. El detalle del análisis para la identificar oportunidades de mejora se expone en el Anexo A4.

Facultad	Oportunidad identificada
Agronomía	Se presume la conveniencia de un cambio a la tarifa eléctrica AT4.3. Suponiendo un régimen de consumo eléctrico similar al de Veterinaria, es decir, una demanda en hora punta (HP) igual al 55% de la demanda fuera de hora punta (FHP), se estima un ahorro cercano a MM\$ 7,5 al año por concepto reducción de la facturación por demanda.
	Se observa un costo promedio de suministro de gas superior en hasta 20 \$/kWh con respecto a la facultad de Veterinaria. Se estima un ahorro de hasta 3,9 MM\$ por mejoras en la adquisición de gas.
	Se observa que el costo promedio de gas cilindro está entre 14 y 18 \$/kWh por debajo del costo promedio del gas a granel. Preferir el uso de cilindros de gas en vez del gas a granel puede representar un ahorro significativo.
Veterinaria	Se estima un potencial de reducción de la demanda punta de al menos 40 kW. Esto equivale a un ahorro económico por reducción de la facturación eléctrica superior a los 2,8 MM\$ al año.
	Se observa que el costo promedio de gas cilindro está entre 14 y 18 \$/kWh por debajo del costo promedio del gas a granel. Preferir el uso de cilindros de gas en vez del gas a granel puede representar un ahorro significativo.
Forestal	Se advierte un costo de suministro de gas a granel mayor que en el resto de las facultades. Cambiar el proveedor de gas a granel puede presentar un ahorro de hasta 120 \$/lt.

Tabla 9 Oportunidades detectadas en el suministro, Campus Sur.

5.2.5.2. Oportunidades detectadas en el Uso

De acuerdo con los requisitos planteados para una revisión energética según la ISO 50.001, se identificaron oportunidades de mejora en los usos energéticos más significativos. Para esto, se estableció como criterio considerar como significativo aquellos usos que comprendieran, de manera jerarquizada, el 75% del consumo energético de cada facultad.

De esta forma, las medidas que se desprendan de este análisis tendrán un mayor impacto sobre el consumo energético total.

La metodología aplicada en esta sección se basa en una caracterización secuencial de los focos de consumo energético más relevantes, filtrando la información de acuerdo a las categorías definidas en el inventario a fin de detectar ineficiencias y oportunidades de mejora. Este proceso lleva a delimitar un foco de consumo donde se advierten oportunidades significativas de mejora, es decir, que representen un ahorro potencial de energía considerable respecto del consumo total.

Para los sistemas más simples como iluminación, las oportunidades de mejora se relacionan con el reemplazo de tecnologías antiguas y/o ineficientes por otras más eficientes, considerando valores referenciales de rendimiento por tipo de tecnología. Para los sistemas más complejos, como los asociados al confort térmico, se consultó en bibliografía las medidas de mejora comúnmente implementadas para poder establecer un potencial de ahorro. Se debe mencionar que, dados los alcances de este trabajo, se dejará propuesta la verificación de los potenciales de ahorro propuestos.

A continuación se presentan las principales oportunidades de mejora detectadas en los sistemas más significativos de cada facultad. El análisis detallado de identificación de oportunidades se encuentra en el Anexo A4.

Sistema	Oportunidades de Mejora
Agronomía	
Climatización	<p>El mayor uso energético en esta facultad se debe a la utilización de equipos de climatización, donde un 90% es consumido por equipos de aire acondicionado. El mayor consumo energético de estos equipos se encuentra en el edificio K, donde se registró la existencia de equipos de diversa naturaleza y antigüedad. Equipos de climatización relativamente antiguos, como algunos de los observados en el edificio, resultan ser menos eficientes que las tecnologías actuales. Se recomienda evaluar la pertinencia de la instalación de un sistema de climatización más eficiente.</p> <p>Un sistema de climatización eficiente, tipo VRV, puede generar ahorros de hasta un 20% [22].</p>

Tabla 10 Oportunidades detectadas en el uso, Campus Sur (parte 1).

Sistema	Oportunidades de Mejora
Agronomía	
Refrigeración	<p>En cuanto a los equipos de refrigeración, el consumo energético de estos se debe principalmente al uso de cámaras de frío ubicadas en dos edificios, U y N. El consumo energético de las cámaras de frío equivale a un 9% del total de la facultad. Se recomienda verificar posibles focos de ineficiencia a través de la evaluación de la utilización y estado de las cámaras.</p> <p>Se estiman ahorros que van entre el 2% a 3% por cada grado en que se disminuya la temperatura de condensación y entre 1% y 4% por cada grado en que se aumente la temperatura de evaporación [23].</p>
Calefacción	<p>De acuerdo con los datos recopilados, los edificios A, K y F presentan el mayor consumo energético por el uso de equipos de calefacción. En particular, el edificio K posee el mayor consumo por equipos de aire acondicionado, por lo que se advierten problemas de uso de los equipos y/o confort térmico que bien pueden generarse por un subdimensionamiento de equipos y pérdidas térmicas considerables. Al respecto, medidas de mejora de la aislación del acristalamiento y reducción de infiltraciones ofrecen ahorros de energía de hasta un 40% [24].</p> <p>Se recomienda realizar una evaluación más acabada en estos 3 edificios, particularmente en el edificio K, que pueda detectar ineficiencias en el uso de equipos y problemas en la aislación térmica de los recintos.</p>
Laboratorio	<p>Los laboratorios son recintos de uso intensivo de energía debido a los procesos que ahí se desarrollan y los equipos utilizados. Las oportunidades de mejora están acotadas a los requerimientos de las experiencias desarrolladas y la oferta y características de los equipos. No obstante, diversas instituciones han emprendido acciones por mejorar el uso y eficiencia de los equipos, las que han generado ahorros energéticos en torno al 25% [25].</p>

Tabla 11 Oportunidades detectadas en el uso, Campus Sur (parte 2)

Sistema	Oportunidades de Mejora
Veterinaria	
Laboratorio	<p>El consumo energético más importante de la facultad se encuentra asociados a las actividades de laboratorio. Al respecto, diversas instituciones han emprendido acciones por mejorar el uso y eficiencia de los equipos de laboratorio, las que han generado ahorros energéticos en torno al 25% [25]. En particular, en Farmacología se identificó el mayor consumo de energía por concepto de equipos de laboratorio. Se advierte que un 11% del consumo energético se atribuye al uso de cabinas de seguridad. Iniciativas de universidades extranjeras han logrado importantes ahorros por fomentar el uso eficiente de las cabinas de seguridad [26]. Se advierte una oportunidad por mejorar el uso de las cabinas de seguridad y se recomienda una revisión y evaluación más acabada de estos recintos.</p>
Climatización	<p>El mayor consumo energético por uso de equipos de clima se encuentra en Farmacología. Este recinto posee altas exigencias de ventilación y temperatura, debiendo mantener los equipos de climatización operando durante toda la jornada. Con base a la inspección del recinto, se presume la existencia de posibles pérdidas térmicas e infiltraciones debido a la constatación de materiales constructivos de baja resistividad al fujo de calor. Mejoras en la aislación térmica de la estructura puede generar ahorros entre 50% y 70% [24].</p> <p>Se advierten oportunidades de mejora relacionadas con la disminución de pérdidas e infiltraciones térmicas del edificio.</p>
Calefacción	<p>Uno de los mayores consumos energéticos por concepto de calefacción se registra en Patología Aviar, donde se verificó la utilización de una estufa eléctrica para funcionar como cámaras de incubación. Al respecto, diversos factores motivan la idea de mejora por el reemplazo de esta estufa por un equipo de incubación eficiente y correctamente dimensionado. El ahorro energético dependerá de las dimensiones requeridas para la incubadora, no obstante equipos relativamente grandes, de 210 lts, poseen una potencia nominal cercana a 1400 W, un 30% menos que la potencia de una estufa eléctrica común [27].</p>

Tabla 12 Oportunidades detectadas en el uso, Campus Sur (parte 3).

Sistema	Oportunidades de Mejora
Veterinaria	
Iluminación	<p>Se detectó que un 13% del consumo de iluminación se debe al uso de luminarias incandescentes, las que representan equipos de baja eficiencia. Se advierte una oportunidad en el reemplazo de estas luminarias por equipos de mayor eficiencia. Alternativas LED o CFL consumen entre un 20% y un 25% de la energía requerida por una ampolla incandescente [28].</p> <p>También se identificó la utilización de reflectores halógenos, los cuales operan casi exclusivamente durante la noche como iluminación exterior. Un reflector LED consume cerca de un 15% de la energía requerida por un reflector halógeno de igual flujo luminoso [29]. Se recomienda el reemplazo de estos por tecnologías más eficientes.</p>
Forestal	
Calefacción	<p>Respecto al uso de equipos de calefacción, se detectó que el edificio A posee el mayor consumo en la facultad. El segundo consumo más importante, el Pabellón Arauco, representa una mayor superficie y consume cerca de la mitad de la energía que gasta el edificio A. Por lo anterior, se presumen problemas de satisfacción del confort térmico y/o un uso ineficiente de los equipos de calefacción en este edificio. La disminución de infiltraciones en puertas y ventanas puede generar ahorros de hasta un 40% [24].</p> <p>Se recomienda evaluar la utilización de estos equipos y las condiciones de aislación térmica del edificio.</p>
Iluminación	<p>Los resultados del análisis indican que un 5% de la energía destinada a iluminación se gasta en luminarias de tipo incandescentes. Otros tipos de luminarias más eficientes consumen entre el 20% y 25% de la energía que requiere una ampolla incandescente [28].</p> <p>Se identifica una oportunidad en el reemplazo de luminarias incandescentes en el edificio A por alternativas más eficientes.</p>

Tabla 13 Oportunidades detectadas en el uso, Campus Sur (parte 4).

Sistema	Oportunidades de Mejora
Forestal	
Computación	<p>El análisis del uso energético reveló que más del 90% del consumo por equipos de computación se debe al uso de computadores de escritorio. La mayor parte de este consumo se encuentra en el edificio A, lugar donde se emplaza el sector administrativo de la facultad.</p> <p>En este sector, se verificó la existencia de equipos de diversa naturaleza, contabilizándose algunos relativamente antiguos, por lo que se advierte una oportunidad por el reemplazo de unidades antiguas y poco eficientes por modelos de bajo consumo energético.</p> <p>Un computador de escritorio eficiente consume cerca de un 30% menos de energía que un equipo convencional [30]. Por otro lado, un notebook consume cerca de un 30% de lo que consume un computador de escritorio [31].</p>

Tabla 14 Oportunidades detectadas en el uso, Campus Sur (parte 5).

A partir de las oportunidades de mejora presentadas se estableció un potencial de ahorro en cada facultad y en el campus. Para esto, se ponderó el consumo energético correspondiente a la oportunidad de mejora respectiva por el porcentaje máximo de ahorro referencial, consultado en la literatura. El producto de la operación anterior se compara con el consumo de energía de la facultad respectiva y, posteriormente, del campus. De esta forma se determinaron los siguientes potenciales de ahorro:

- Agronomía: 9,4 %.
- Veterinaria: 14,8 %.
- Forestal: 14,5 %.
- Campus Sur: 11,9 %.

Cabe mencionar que, en gran parte de las oportunidades presentadas, se requiere de estudios más acabados que determinen potenciales de ahorro específicos de los consumos evaluados. No obstante, esta primera revisión presenta una visión general de las oportunidades de mejora, que sirve como orientación de las medidas que se puedan implementarse más adelante.

5.3. Campus Beauchef

La revisión energética realizada en el Campus Beauchef presenta ciertas diferencias con el trabajo realizado en Campus Sur. En este caso, el campus alberga sólo una facultad en sector bastante más reducido que el caso anterior. Estas características, junto con una mayor superficie construida, motivaron la división del campus de acuerdo a sus edificios.

Por otro lado, la ejecución del levantamiento de información, que contabilizó 32.137 artefactos, se realizó de forma independiente por la oficina de sustentabilidad del campus. En este trabajo se presenta el análisis de la información recopilada.

5.3.1. Alcances

Los alcances de la Revisión Energética en el campus se definieron en conjunto con los representantes de +Energía, tomando en consideración la realización del proyecto dentro de los plazos estipulados.

5.3.1.1. Alcances Generales

El análisis del suministro y uso energético se limita a la disponibilidad y detalle de la información existente. Esto quiere decir:

- Se toma como período de referencia al tiempo transcurrido entre Enero y Diciembre del 2013.
- El análisis considera el desempeño energético anual del campus.

5.3.1.2. Alcances Geográficos

Los límites físicos del trabajo realizado en el Campus Beauchef consideran al edificio del departamento de Computación (Av. Blanco Encalada 2002) y los edificios ubicados en la manzana delimitada por las calles Beauchef, Blanco Encalada, Tupper y Plaza Alonso de Ercilla, con excepción de las dependencias de Idiem, tal y como se muestra en la Ilustración 13.



Ilustración 13 Alcances geográficos de la Auditoría Energética (perímetro marcado en verde).

5.3.1.3. Alcances de información utilizada

Los datos utilizados en el análisis presentado en este documento se exponen a continuación:

- Registro de facturaciones de electricidad, provisto por la empresa eléctrica, de los empalmes correspondientes a los límites físicos del estudio.
- Registro de facturas por suministro de gas correspondiente a los años 2012 y 2013, provisto por la oficina de sustentabilidad del campus.
- Planos de arquitectura, provistos por la oficina de sustentabilidad del campus.

5.3.2. Balance Energético

El Balance Energético se obtuvo del ajuste entre los datos de consumo energético, registrados en la facturación del suministro del año 2013, y los datos de uso energético, proporcionados por el inventario de artefactos de uso energético.

El ajuste de los datos consideró la ponderación de la potencia nominal y los tiempos de uso con parámetros estándares de ciclos de trabajo y un factor de ajuste por tiempo de uso. Los resultados del ajuste se muestran en la Tabla 15.

El balance indica un error en torno al 0%, por lo que se acepta la estimación de los consumos de energía provenientes del inventario.

Fuente Energética	Electricidad kWh/año	Gas kWh/año	Total Energía kWh/año
Energía Estimada	6.286.234	43.181	6.329.415
Energía Registrada ⁹	6.276.156	43.353	6.319.509
Error	0%	0%	0%

Tabla 15 Balance energético entre los datos de suministro y la estimación del consumo energético.

5.3.3. Análisis de Suministro

El análisis de suministro energético consideró los datos de suministro definidos en los alcances de información, correspondientes al sector delimitado en los alcances de la revisión energética.

De acuerdo con el inventario de equipos realizado en el Campus, se identificaron dos fuentes de energía, correspondientes a los suministros de electricidad y gas. El Gráfico 20 presenta la distribución del suministro anual de energía eléctrica y gas, medida en kWh/año, correspondiente al año 2013.

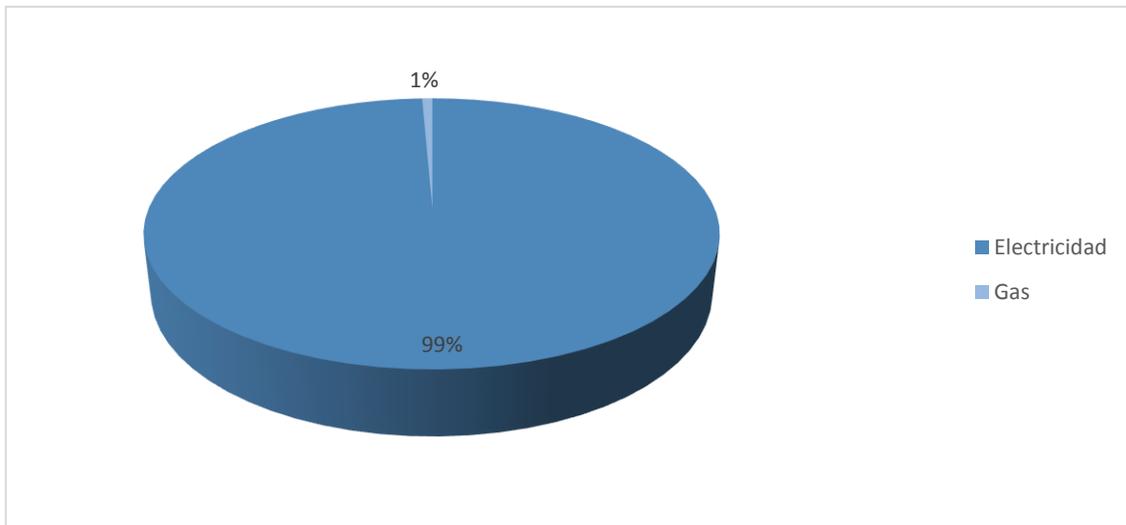


Gráfico 20 Energía suministrada al Campus Beauchef durante el año 2013.

Se simuló la facturación por suministro de electricidad para cada empalme de acuerdo a las tarifas vigentes al momento de realizar el estudio¹⁰. En la gráfica inferior se presenta la energía registrada durante el año 2013 y el precio monómico de acuerdo a la simulación tarifaria para cada empalme junto con el costo promedio del suministro de gas.

⁹Energía Registrada en los datos de facturación correspondientes al año 2013.

¹⁰ Valores de tarifas publicados por el sitio oficial de Chilectra, Mayo 2014.

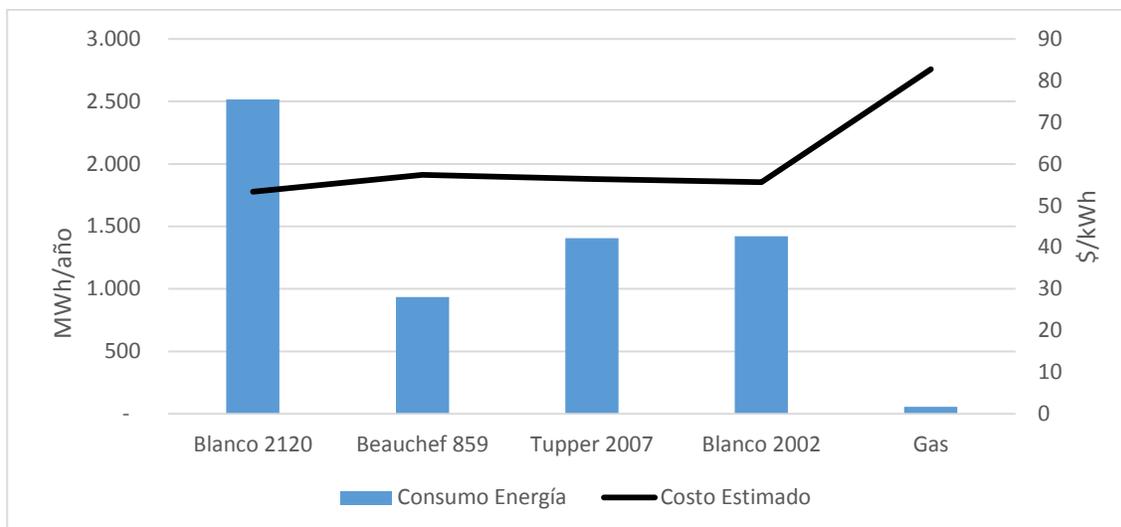


Gráfico 21 Costo del suministro promedio para el año 2013.

Se observa que el mayor consumo, correspondiente al empalme Blanco 2120, posee el menor precio monómico. Por otra parte el gas presenta el mayor costo de suministro.

5.3.3.1. Electricidad

En cuanto al suministro de electricidad, los edificios comprendidos en el presente estudio son alimentados a través de 4 empalmes, que se describen en la tabla inferior.

Ítem	Empalme 1	Empalme 2	Empalme 3	Empalme 4
N° de cliente	177946-K	177949-4	177950-8	2556131-7
Dirección	Blanco Encalada 2120	Beauchef 850	Tupper 2007	Blanco Encalada 2002
Potencia suministrada (kW)	800	840	450	No disponible
Estructura tarifaria	AT3 PP 1S-C1	AT4.3 1S-C1	AT3 PPP 1S-C3	AT4.3
Edificios que alimenta	Edificio Blanco 2120	Edificio Escuela Edificio Ing. Minas. Idiem	Edificio Ing. Eléctrica Edificio Física Torre Central	Edificio Ing. Civil-Geofísica Edificio Geología

Tabla 16 Información empalmes que alimentan al campus.

De acuerdo a los resultados de la auditoría interna, el esquema de alimentación de los edificios auditados sigue la distribución presentada en la Ilustración 14.

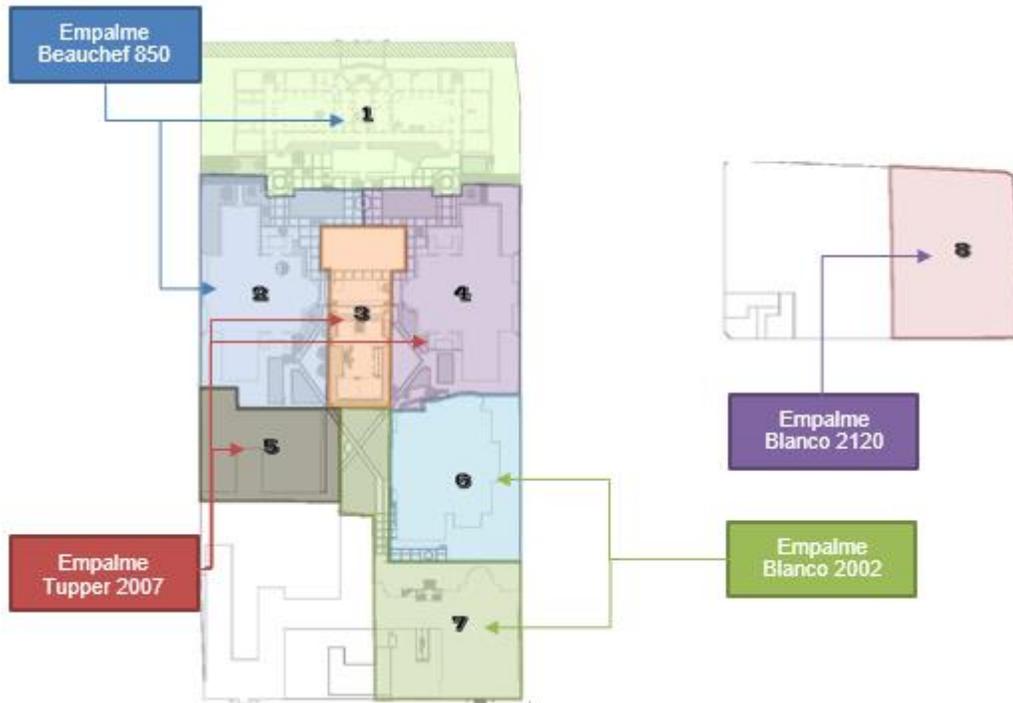


Ilustración 14 Esquema de alimentación eléctrica edificios Campus Beauchef

El Gráfico 22 presenta el suministro eléctrico agregado de los cuatro empalmes presentados entre el años 2003 y 2013. Se puede observar un aumento considerable en el consumo energético, pasando de los 5 GWh/año durante el 2003 a más de 7 GWh/año para el año 2013. A partir de lo anterior se puede establecer una tasa de variación anual promedio del consumo en torno al 4%.

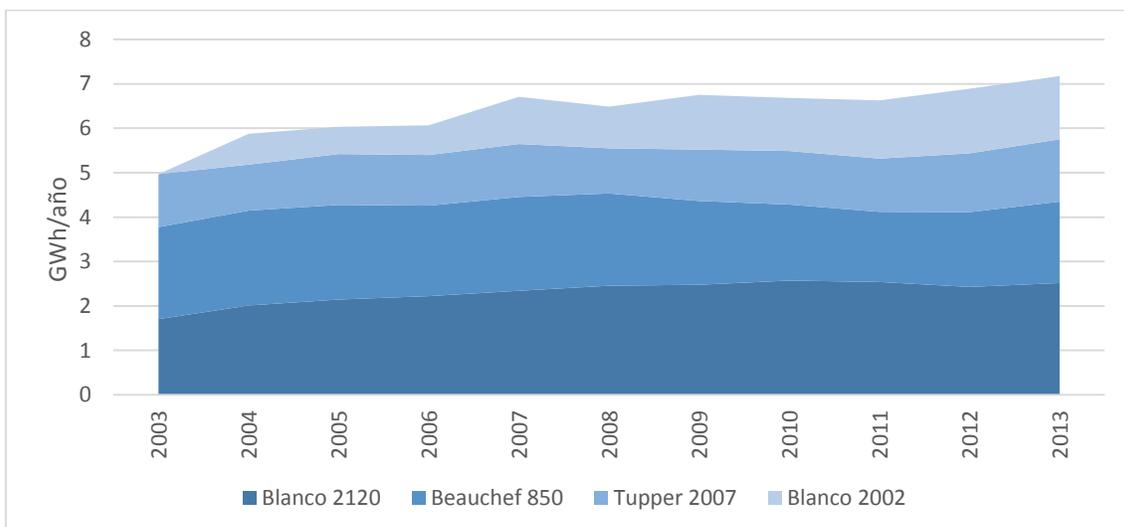


Gráfico 22 Suministro eléctrico histórico agregado y variación del consumo con respecto al año 2003.

5.3.3.2. Gas

Los datos disponibles del suministro de gas no permiten estudiar la tendencia del consumo, por su corta duración y escases de datos (datos mensuales desde Enero del 2012 hasta Agosto del 2013). A continuación se presenta el suministro energético y el costo asociado a éste para el gas ciudad.

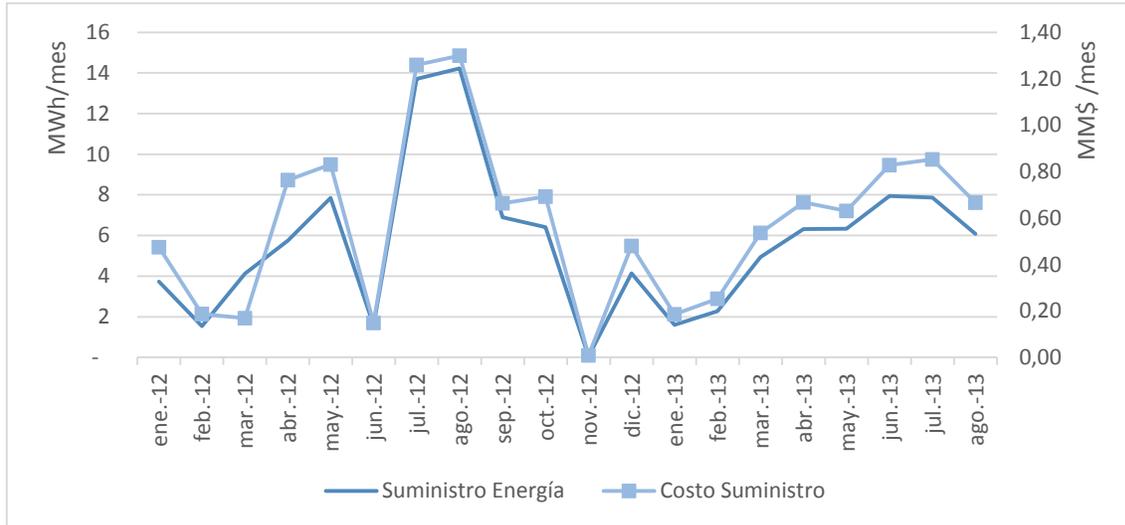


Gráfico 23 Histórico mensual de suministro y costo del suministro de gas.

Se puede observar que el suministro de gas aumenta durante los meses de invierno, por lo que se puede asociar el consumo a las necesidades de calefacción del campus.

5.3.4. Análisis de Uso Energético

El análisis del uso energético utilizó la información recopilada en el inventario de artefactos de consumo energético.

A continuación se analiza el uso energético por sistema energético, representados según la tipología de artefacto, a nivel general y a nivel específico, identificando aquellos sistemas energéticamente más relevantes para el campus.

5.3.4.1. Análisis General

La distribución del consumo energético en el campus por tipo de artefacto se presenta en el Gráfico 24. En el gráfico se puede observar que el mayor consumo corresponde a los artefactos de climatización, iluminación y computación, los que representan el 76% del consumo.

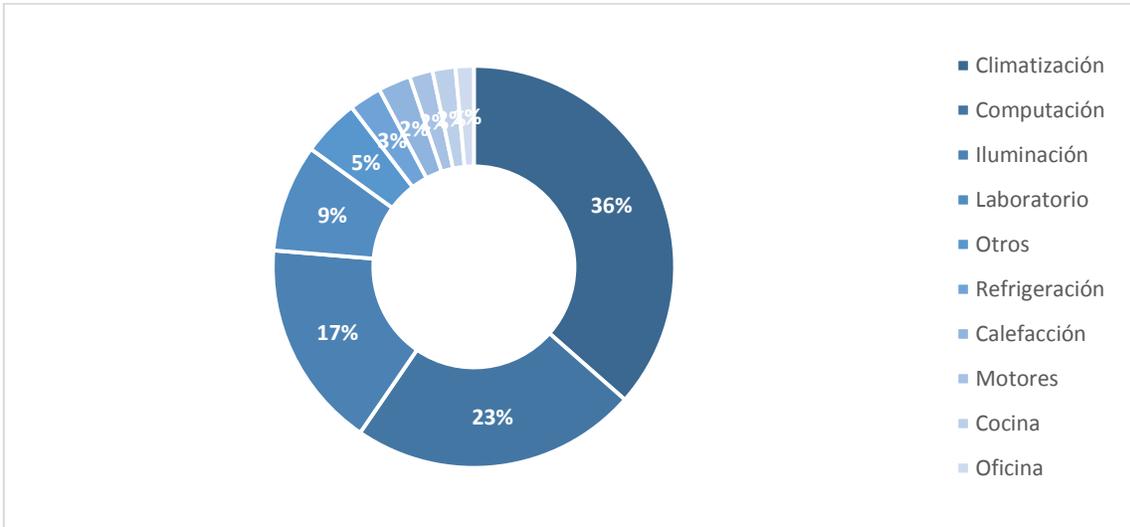


Gráfico 24 Distribución general de uso de energía por tipo de artefacto.

En el Gráfico 25 se presentan los costos por el consumo energético de los artefactos existentes, en base al costo promedio del gas y el precio monómico estimado de electricidad.

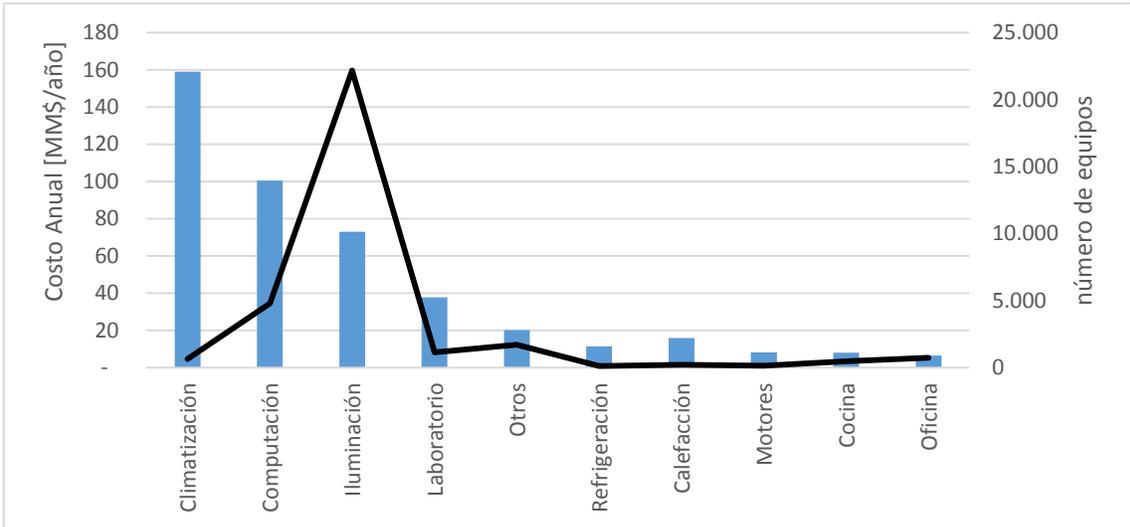


Gráfico 25 Costos estimados por consumo energético y cantidad de artefactos en Campus.

Se observa en el gráfico anterior que se destinan casi 160 MM\$ al año por concepto de climatización, lo que equivale al 36% del costo total por suministro de energía.

El Gráfico 26 presenta la distribución general de consumo energético junto al costo estimado del consumo por zona¹¹. Se puede observar que la Zona 8 es responsable de casi el 40% del consumo energético y del costo pagado por energía en el Campus Beauchef. Se observa también un costo energético más alto en las zonas 6 y 7.

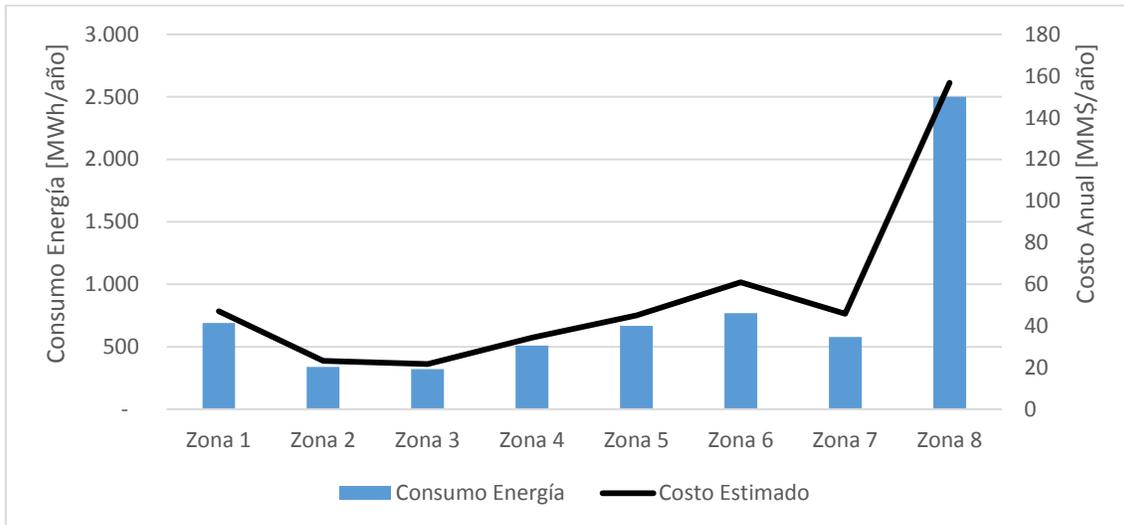


Gráfico 26 Uso energético anual por zona.

5.3.4.2. Análisis Específico

A continuación se presentan los resultados de uso energético por tipo de artefacto en cada zona.

Zona 1

El Gráfico 27 presenta la distribución del consumo de energía para la Zona 1, la que alberga al edificio Escuela. Se observa que el mayor consumo energético corresponde a artefactos de iluminación, los cuales representan el 38% del consumo energético anual del edificio. Los equipos de climatización le siguen en magnitud de consumo, representando un 24% del consumo energético del edificio.

¹¹ Costo estimado como la razón entre el total facturado por suministro energético y el total de energía (en kWh) suministrado durante el año 2013.

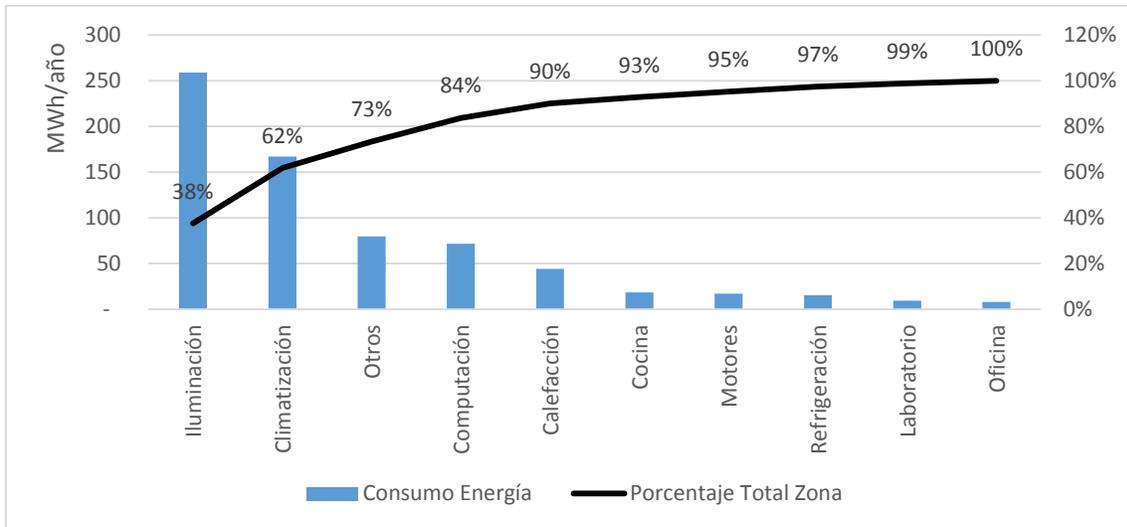


Gráfico 27 Uso anual de energía por tipo de artefacto en Zona 1.

Zona 2

La Zona 2 alberga al edificio de Ingeniería en Minas. El Gráfico 28 presenta un gran consumo por artefactos de laboratorio que llega al 25% del consumo energético total del edificio.

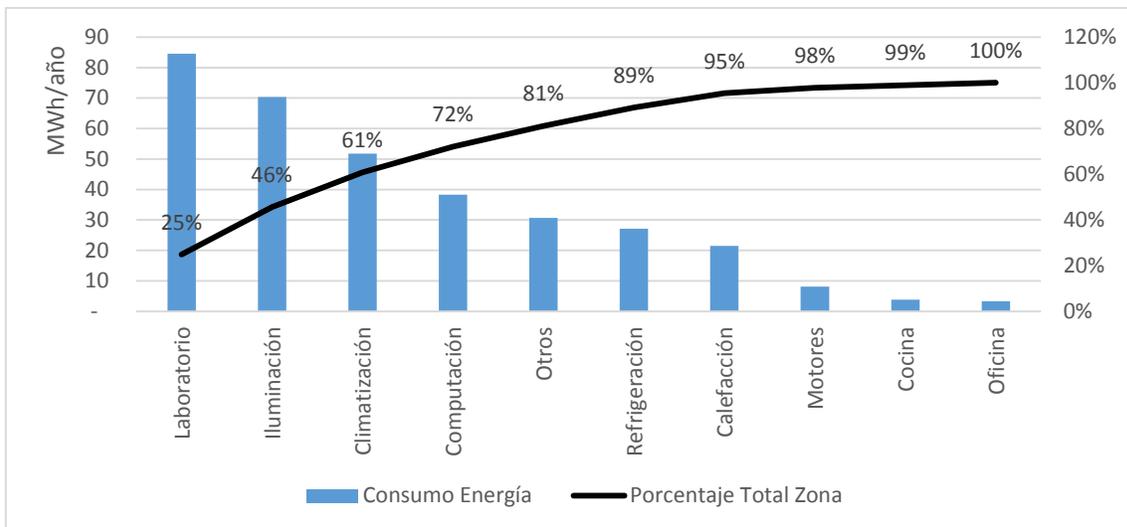


Gráfico 28 Uso anual de energía por tipo de artefacto en Zona 2.

Zona 3

La Zona 3 alberga al edificio Torre Central, donde se encuentra parte del sector administrativo del Campus Beauchef y el departamento de Ingeniería Mecánica. En el

gráfico inferior se observa que un 55% del consumo se debe al uso de equipos de iluminación y climatización.

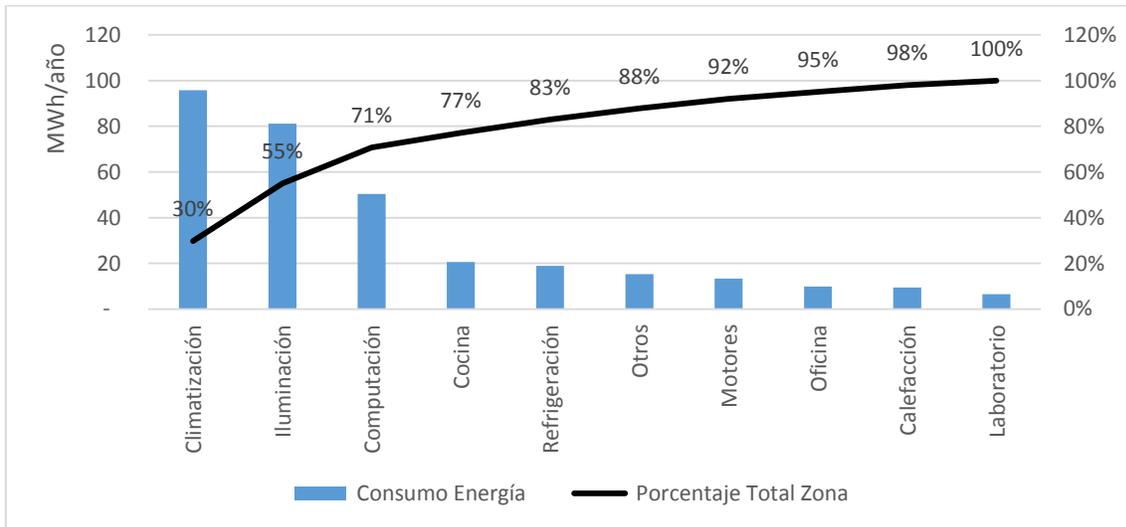


Gráfico 29 Uso anual de energía por tipo de artefacto en Zona 3.

Zona 4

La distribución del consumo energético de la Zona 4, mostrada en el gráfico inferior, resulta similar a la observada en el caso de la Zona 2. En esta zona se observa una fuerte componente en uso de equipos de laboratorio, los cuales representan el 40% del total del consumo energético de la zona.

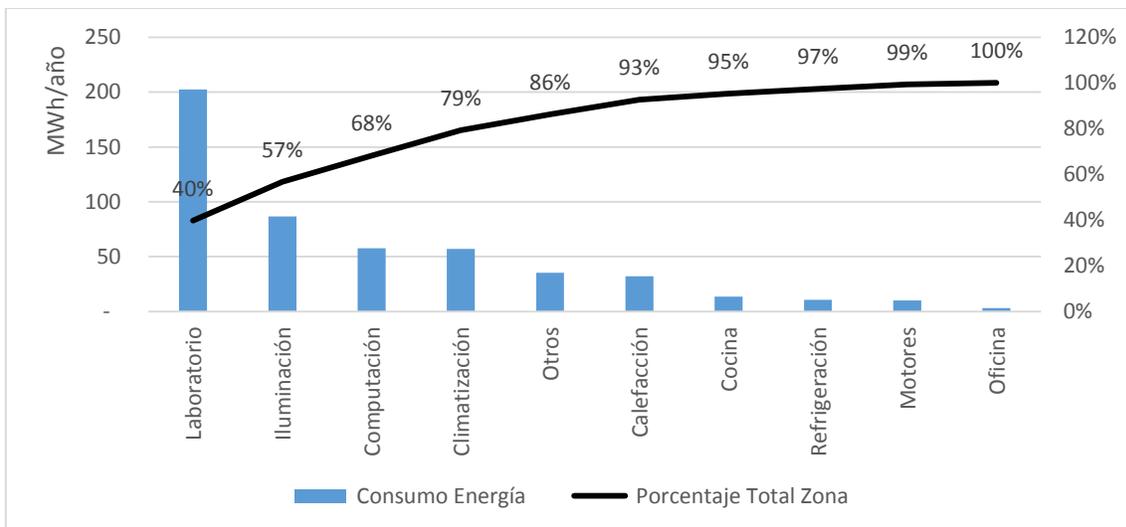


Gráfico 30 Uso anual de energía por tipo de artefacto en Zona 4.

Zona 5

En el Gráfico 31 se puede observar que el 75% del consumo energético se reparte entre equipos de climatización, computación e iluminación.

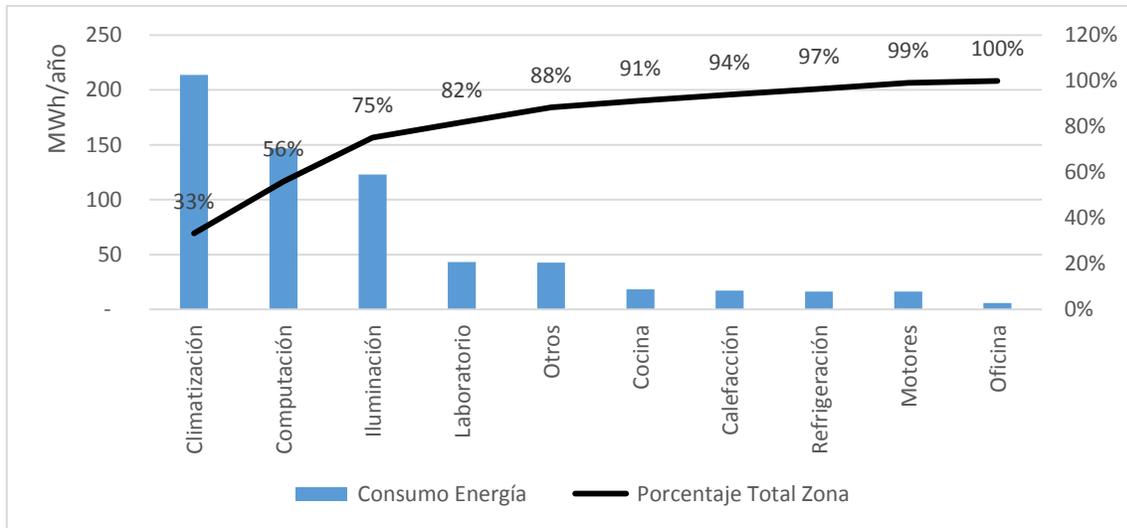


Gráfico 31 Uso anual de energía por tipo de artefacto en Zona 5.

Zona 6

Esta zona corresponde al edificio de Ingeniería Civil y Geofísica, donde se encuentra un data-center que sirve a Geofísica. De acuerdo con el Gráfico 32, los equipos de climatización y computación consumen el 67% de la energía en esta zona.

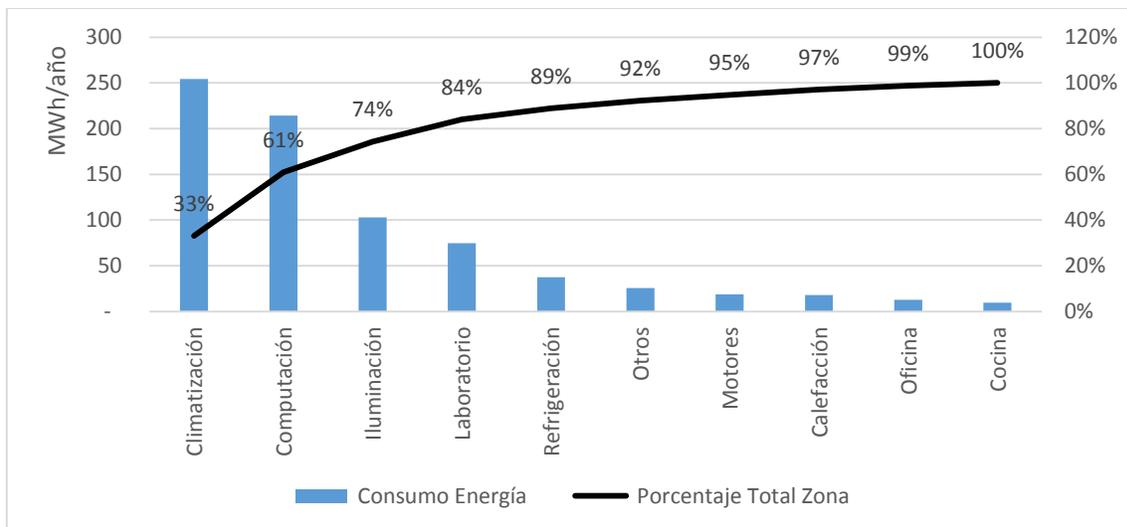


Gráfico 32 Uso anual de energía por tipo de artefacto en Zona 6.

Zona 7

La Zona 7 comprende al edificio de Geología. Se observa en el Gráfico 33 una fuerte componente del consumo energético en equipos de climatización, que llega al 51% del consumo total del edificio.

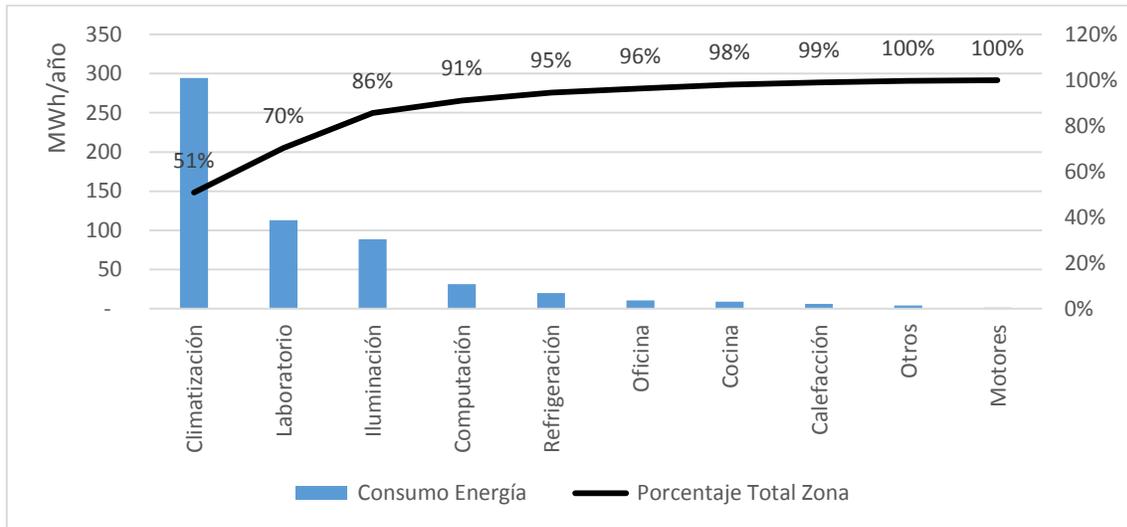


Gráfico 33 Uso anual de energía por tipo de artefacto, Zona 7.

Zona 8

La Zona 8 corresponde a la zona de mayor consumo energético y alberga al edificio más grande del Campus. El Gráfico 34 presenta la distribución del consumo energético por tipo de artefacto en este edificio. Se puede observar que más del 82% del consumo se debe al funcionamiento de equipos de climatización y computación.

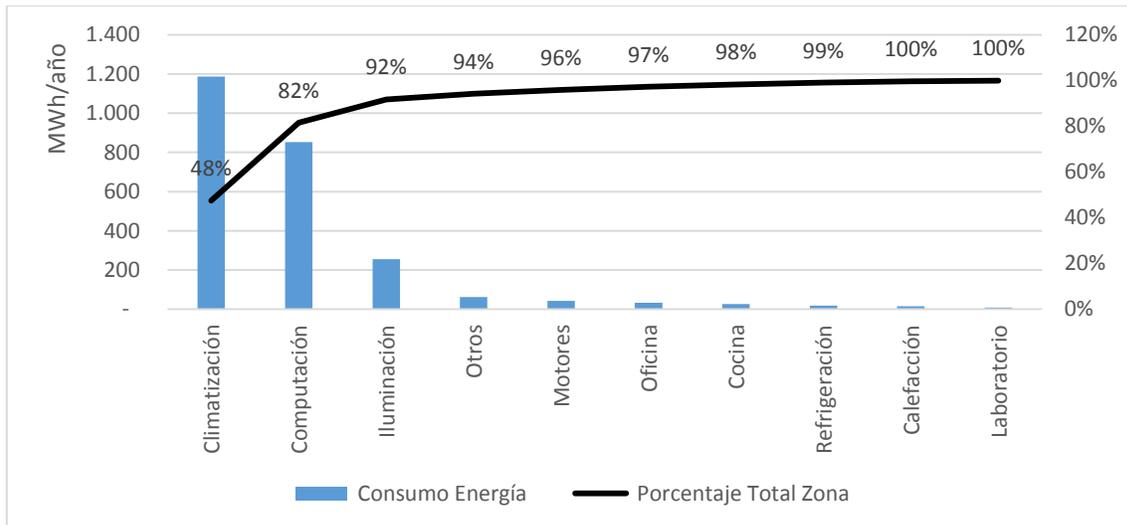


Gráfico 34 Uso anual de energía por tipo de artefacto en Zona 8.

5.3.5. Detección de Oportunidades de Mejora

Como consecuencia del análisis de suministro y uso energético se detectaron oportunidades de mejora en los consumos más significativos de cada zona del campus.

5.3.5.1. Oportunidades detectadas en el Suministro

Los datos presentados anteriormente muestran que casi el 100% de la energía suministrada al campus corresponde a la electricidad, por lo que las oportunidades de mejora presentadas a continuación se enfocan en el análisis de facturación de los empalmes y los beneficios que podría reportar un cambio de tarifa eléctrica.

Se evaluó la conveniencia de un cambio tarifario a través de la simulación de la facturación eléctrica en los cuatro empalmes incluidos en este trabajo. Dada la información disponible, esta simulación se ejecutó de forma distinta al caso del Campus Sur, aplicando los valores de los cargos de las tarifas¹² vigentes al momento del estudio sobre los registros de energía y demanda desde el 2011 al 2013.

Para simular las tarifas AT4, es necesario suponer cómo se comporta la demanda de hora punta en función de la demanda máxima registrada, ya que no se cuenta con el registro de demanda diferenciada de forma horaria.

Por otro lado, para simular la tarifa AT2 y AT3, se debe evaluar tanto el escenario en que el consumo clasifica como presente en punta (PP), como aquél en que el consumo clasifica como parcialmente presente en punta (PPP).

Finalmente, para simular las tarifas con potencia contratada, se supuso un contrato por un 110% de la máxima potencia registrada (en ese bloque horario), lo que corresponde a la menor variación promedio de la demanda (caso más favorable para el uso de esta tarifa).

A continuación se presentan las oportunidades detectadas por medio de la simulación tarifaria para cada empalme. El análisis y los resultados que llevaron a detectar estas oportunidades se presentan en el Anexo A5.

¹² Cargos tarifarios publicados por Chilectra S.A. en su sitio web, vigentes a partir del 1 de Mayo del 2014.

Empalme	Oportunidades de Mejora
Blanco 2120	Este empalme cuenta con tarifa AT3 PP. La simulación muestra que resulta conveniente un cambio a la tarifa AT4.3, aún en el peor escenario, cuando la demanda HP iguala la demanda FHP.
Beauchef 850	Este empalme cuenta con una tarifa AT4.3. La conveniencia de un cambio de tarifa está sujeta a la calificación del consumo como PP o PPP. Si el consumo califica como PP, la alternativa más conveniente es mantener la tarifa actual. Si el consumo califica como PPP, resulta conveniente cambiarse a una tarifa AT3. Por otro lado, este empalme posee, proporcionalmente, el mayor costo por demanda en el campus, lo que se atribuye a una alta demanda HP. Se advierte una oportunidad en gestionar el consumo de manera de reducir la demanda punta.
Tupper 2007	Este empalme posee una tarifa AT3 PPP. El análisis muestra que si la demanda HP está por debajo del 60% de la demanda FHP, resulta conveniente un cambio a la tarifa AT4.3. En caso contrario se recomienda seguir con la tarifa actual.
Blanco 2002	Este empalme posee tarifa AT4.3. La simulación muestra que, bajo el supuesto de un consumo PPP, la tarifa más conveniente es la AT3. En el supuesto de un consumo PP, se recomienda mantener la tarifa actual.

Tabla 17 Oportunidades detectadas en el suministro de electricidad, Campus Beauchef.

5.3.5.2. Oportunidades detectadas en el Uso

A continuación se presentan las oportunidades de mejora identificadas en los consumos más significativos de cada zona, de acuerdo al análisis de los datos de uso energético presentados en el punto 5.3.3. La metodología de análisis es análoga a la presentada en el punto 5.2.5.2.

Con el propósito de extender el análisis a todas las zonas y cubrir los consumos que representen más del 75% total del campus, se analizan los 3 mayores consumos de energía en cada zona. El detalle del análisis que llevó a identificar estas oportunidades se presenta en el Anexo A5.

Sistema	Oportunidades de Mejora
Zona 1	
Iluminación	<p>El análisis de los datos mostró que cerca del 10% del consumo energético total de esta zona corresponde al uso de luminarias halógenas, empleadas principalmente en la iluminación de pasillos y zonas de tránsito. Un equipo eficiente, tipo LED por ejemplo, representa cerca de un 15% del consumo de las luminarias halógenas [29].</p> <p>Se advierte una oportunidad de mejora por el reemplazo de las luminarias halógenas.</p>
Climatización	<p>Respecto del consumo de equipos de climatización, se identificó que el equipo chiller representa cerca del 10% del consumo total de la Zona 1. Se recomienda evaluar el funcionamiento y estado del equipo a fin de poder determinar oportunidades concretas de ahorro.</p> <p>La bibliografía consultada muestra potenciales de ahorro de hasta un 30% por programación y automatización del funcionamiento [32] y de hasta un 50% de ahorro mejoras técnicas de los componentes del equipo [33].</p>
Otros	<p>El 31% del consumo energético de este ítem proviene de equipos sin clasificar, lo que equivale a un 3% del consumo total de la Zona 1. El consumo restante se encuentra equitativamente distribuido entre otras 7 sub-categorías.</p> <p>No se advierten oportunidades que representen una mejora significativa en el desempeño energético.</p>
Zona 2	
Laboratorio	<p>En esta zona, el uso de equipos de laboratorio representa el mayor consumo de energía (llegando a un 25% del total de la zona). El análisis de los datos reveló un consumo energético distribuido en forma equitativa entre los distintos equipos contabilizados.</p> <p>No obstante, diversas instituciones han emprendido acciones por mejorar el uso y eficiencia de los equipos, las que han generado ahorros energéticos en torno al 25% [25]. Por tanto se recomienda revisar y evaluar las prácticas y los equipos utilizados en los laboratorios.</p>

Tabla 18 Oportunidades detectadas en el uso, Campus Beauchef (parte 1).

Sistema	Oportunidades de Mejora
Zona 2	
Iluminación	Los datos presentados en el Análisis Específico indican que un 20% del consumo energético de esta zona se destina a iluminación. El análisis de datos indica el uso de luminarias incandescentes, equipos con un bajo nivel de eficiencia. Alternativas LED o CFL consumen entre un 20% y un 25% de la energía requerida por una ampolla incandescente [28]. Se advierte una oportunidad de mejora por el reemplazo de las luminarias incandescentes por luminarias más eficientes.
Climatización	Los datos expuestos en el Análisis Específico muestran que cerca del 15% del consumo en esta zona se destina al funcionamiento de equipos de climatización. Dentro de estos, se constató el funcionamiento de un equipo notoriamente antiguo, el cual puede representar un foco de ineficiencia por lo que se recomienda la inspección y evaluación de su reemplazo.
Zona 3	
Climatización	<p>La mayor parte del consumo energético de esta zona (un 30%) se debe al uso de equipos de climatización, correspondiendo todos estos a equipos de aire acondicionado. Los resultados del análisis indican una concentración de equipos en oficinas, donde funcionan bajo demanda del usuario. Dada la información disponible, no se puede descartar la posibilidad de un uso ineficiente de equipos, por lo que se recomienda realizar un estudio más acabado que determine la pertinencia de mejoras en el uso del sistema de climatización. Mejoras en el uso, ya sean por gestión o programación de equipos, generan ahorros de hasta un 30% [24] [32].</p> <p>Por otro lado, la orientación geográfica del edificio posibilita el requerimiento simultáneo de calefacción y refrigeración en sectores distintos. El aprovechamiento de calor liberado por los equipos de ventilación puede reducir el consumo entre un 20% y un 40% [24].</p> <p>Se recomienda evaluar alternativas de mejora del uso y tecnología de los equipos.</p>

Tabla 19 Oportunidades detectadas en el uso, Campus Beauchef (parte 2).

Sistema	Oportunidades de Mejora
Zona 3	
Iluminación	<p>Las luminarias utilizan cerca del 25% de la energía total en esta zona. El análisis de los datos de uso energético muestra que el 17% del consumo en iluminación se debe al uso de luminarias halógenas. Alternativas de iluminación eficiente, tipo CFL o LED, consumen cerca de un 30% de la energía que consume una halógena [29].</p> <p>Se advierte una oportunidad en el reemplazo de los focos halógenos por luminarias más eficientes.</p>
Computación	<p>El análisis del uso energético muestra que el mayor consumo por equipos de computación en esta zona, se debe al uso de computadores de escritorio en las oficinas. Se advierten oportunidades en mejorar el uso de los equipos (una configuración del equipo en modo de ahorro y la utilización del usuario de forma eficiente, permiten ahorros de hasta un 20% [24]) y el reemplazo de estos equipos por modelos de menor consumo (un equipo eficiente consume hasta un 30% menos que un modelo convencional, y una alternativa portátil hasta un 70% [30] [31]).</p>
Zona 4	
Laboratorio	<p>De acuerdo con los datos recopilados, un 40% del consumo energético de esta zona se utiliza en equipos de laboratorio. Al respecto, diversas instituciones han emprendido acciones por mejorar el uso y eficiencia de los equipos, las que han generado ahorros energéticos en torno al 25% [25].</p> <p>Debido a la relevancia de este consumo, se recomienda revisar el manejo y operación de estos equipos.</p>
Iluminación	<p>El análisis de uso energético indica que un 17% del consumo se destina a iluminación. Se detectó el funcionamiento de luminarias de baja eficiencia, como incandescentes y halógenas. Alternativas tecnológicas más eficientes, como CFL y LED, consumen entre un 20% y un 35% de la energía requerida por las luminarias actuales [29].</p> <p>Se advierte una oportunidad de mejora en el reemplazo de las luminarias incandescentes y halógenas por equipos más eficientes.</p>

Tabla 20 Oportunidades detectadas en el uso, Campus Beauchef (parte 3).

Sistema	Oportunidades de Mejora
Zona 4	
Computación	<p>El tercer consumo más importante corresponde a los equipos de computación, representando un 11% del consumo energético total. El mayor consumo por el uso de computadores de escritorio se da en laboratorios.</p> <p>Necesidades estrictas en los laboratorios, respecto al uso y características de equipos de computación, restringen las acciones de mejora en estos recintos. Esto, junto a un consumo relativamente bajo en otros recintos de la zona, hacen desestimar oportunidades de mejora en este ítem.</p>
Zona 5	
Climatización	<p>El consumo por climatización en esta zona alcanza el 33% del consumo total, donde el 100% corresponde a equipos de aire acondicionado. Los datos recopilados muestran un menor consumo energético por superficie climatizada en el sector del AMTC, donde utiliza un sistema VRV. Mientras que en el sector AMTC el consumo energético por superficie no supera los 30 kWh/año/m², en los demás recintos se registra un valor superior a los 60 kWh/año/m².</p> <p>Se advierte una oportunidad de mejora por el reemplazo de equipos de aire acondicionado independientes (que alimentan las salas, laboratorios y oficinas) por un sistema más eficiente, similar al instalado en AMTC.</p>
Computación	<p>El segundo consumo energético más importante en esta zona corresponde a los equipos de computación. Dentro de estos equipos, son los computadores de escritorio los que representan el mayor uso energético (un 54% del total por computación).</p> <p>Se detectó un funcionamiento intensivo de computadores de escritorio en oficinas. Se recomienda evaluar la eficiencia del uso de los equipos. La configuración del equipo en modo de ahorro y la utilización del usuario de forma eficiente, permiten ahorros de hasta un 20% [24]. Por otro lado, el reemplazo de estos equipos por modelos de menor consumo puede generar ahorros de hasta un 30% [30].</p>

Tabla 21 Oportunidades detectadas en el uso, Campus Beauchef (parte 4).

Sistema	Oportunidades de Mejora
Zona 5	
Iluminación	<p>Iluminación representa casi el 20% del consumo energético de la Zona 5. Un 13% de este consumo energético se debe al uso luminarias incandescentes y halógenas. Alternativas tecnológicas más eficientes, como CFL y LED, consumen entre un 20% y un 35% de la energía requerida por las luminarias actuales [29].</p> <p>Se advierte una oportunidad de mejora por el reemplazo de estos equipos por alternativas más eficientes.</p>
Zona 6	
Climatización	<p>El análisis de los datos recopilados detectó que cerca del 30% del consumo energético total de la Zona 6 se debe al uso de cuatro enfriadoras, las que corresponden a un chiller de confort y tres equipos de refrigeración del centro de datos.</p> <p>Respecto al primer equipo, la bibliografía consultada muestra potenciales de ahorro de hasta un 30% por programación y automatización del funcionamiento [32] y de hasta un 50% de ahorro mejoras técnicas de los componentes del equipo [33].</p> <p>En cuanto a los otros equipos de refrigeración, la experiencia internacional presenta ahorros de hasta un 46% por la aplicación de medidas destinadas a manejar los flujos de aire al interior del centro de datos [34].</p> <p>Se recomienda realizar una evaluación técnica sobre estos sistemas de climatización, que sirva para determinar oportunidades concretas de mejora.</p>
Computación	<p>Los equipos de computación representan el 28% del consumo total de esta zona, donde los equipos con consumos más significativos corresponden a servidores y computadores de escritorio. Las oportunidades detectadas en los servidores se acotan a la etapa de diseño. Respecto a los computadores de escritorio, la utilización eficiente del equipo permite ahorros de hasta un 20% [24], mientras que el reemplazo de estos equipos por modelos de menor consumo puede significar hasta 30% menos de consumo energético [30].</p>

Tabla 22 Oportunidades detectadas en el uso, Campus Beauchef (parte 5).

Sistema	Oportunidades de Mejora
Zona 6	
Iluminación	El tercer consumo energético más significativo de esta zona se destina a iluminación. Se observa que el 20% de este consumo corresponde al uso de luminarias incandescentes. Equipos eficientes, tipo CFL o LED, consumen hasta un 80% menos energía que las luminarias incandescente [29]. Se detecta una oportunidad de mejora por el reemplazo de estas luminarias.
Zona 7	
Climatización	En esta zona, un 51% del consumo energético total se debe al uso de equipos de climatización, donde el 100% corresponde a equipos de aire acondicionado. Cerca de la mitad de la energía utilizada por estos equipos, sirve a las necesidades de los laboratorios. Al respecto, universidades extranjeras han conseguido ahorros cercanos al 25% por la implementación de un control inteligente de los equipos de climatización [25]. Se recomienda evaluar el sistema de climatización de esta zona a fin de detectar oportunidades concretas de mejora.
Laboratorio	De acuerdo con los datos presentados anteriormente, los equipos de laboratorio representan cerca del 20% del consumo energético de la Zona 7. Se identificó que cerca de la mitad de la energía que utilizan estos equipos se destina a un solo equipo, el Bypass. Se recomienda la revisión y evaluación de este equipo y su funcionamiento a fin de detectar oportunidades de mejora.
Iluminación	Cerca de un 16% de la energía en esta zona se utiliza en iluminación. Un 14% de este consumo se atribuye al uso de luminarias halógenas e incandescentes. Se recomienda reemplazar estos equipos por otros más eficientes. Las tecnologías eficientes, CFL y LED por ejemplo, consumen entre 65% y 80% menos que las luminarias halógenas e incandescentes respectivamente.

Tabla 23 Oportunidades detectadas en el uso, Campus Beauchef (parte 6).

Sistema	Oportunidades de Mejora
Zona 8	
Climatización	<p>El consumo por climatización de esta zona representa cerca del 20% del consumo total del campus, y se reparte entre los equipos de confort y los equipos de refrigeración del centro de datos. Respecto a los equipos de confort, la bibliografía presenta ahorros de hasta un 30% por programación automática del funcionamiento [32] y de hasta un 50% por mejoras técnicas de los componentes del equipo [33]. En cuanto a los equipos destinados a refrigerar servidores, la bibliografía consultada muestra ahorros de hasta 46% del consumo energético por el control de los flujos de aire dentro del centro de datos [35] [34].</p>
Computación	<p>Los datos presentados en el análisis de uso energético muestran que un 34% de la energía se utiliza en los equipos de computación. Posteriormente, se identificó que cerca del 60% de este consumo corresponde al uso de servidores. En consideración a los alcances de este estudio, las oportunidades identificadas se acotan a la elección de equipos energéticamente eficientes en la etapa de diseño.</p> <p>El restante 40% del consumo se atribuye al uso de computadores de escritorio, donde el mayor consumo se localiza en la sala de computación del CEC. De acuerdo a la literatura consultada, un equipo de escritorio eficiente consume hasta un 30% menos que un equipo convencional [30].</p> <p>Por otro lado, el mayor número de equipos se encuentran en las oficinas de esta zona. Mejoras en el uso de equipos de escritorio en oficinas presentan un potencial ahorro de hasta un 20% [24].</p>
Iluminación	<p>En esta zona, el consumo energético por equipos de iluminación llega al 10%. Parte importante de este consumo se debe al uso de luminarias halógenas (dicróicas y otras). Alternativas de iluminación eficiente, como CFL o LED, consumen cerca de un 30% de lo que requiere una de tipo halógena [29]. Se advierte una oportunidad en el reemplazo de estos equipos.</p>

Tabla 24 Oportunidades detectadas en el uso, Campus Beauchef (parte 7).

De manera similar al caso del Campus Sur, se determinaron potenciales de ahorro para cada zona y el campus, los que se muestran a continuación:

- Zona 1: 14,7%.
- Zona 2: 7,6%.
- Zona 3: 21,4%.
- Zona 4: 11,2%.
- Zona 5: 20,0%
- Zona 6: 13,5%
- Zona 7: 7,4%
- Zona 8: 25,1%
- Campus Beauchef: 18%

Se debe notar que los mayores potenciales de ahorro están asociados a los consumos de energéticos por equipos de climatización. No obstante, la información presentada corresponde a valores referenciales basados en la bibliografía consultada, por lo que se sugiere realizar estudios más acabados que determinen potenciales de ahorro específicos de los consumos evaluados. Los resultados presentados deben considerarse como guía y orientación para enfocar esfuerzos en las etapas siguientes.

Capítulo 6: Cuantificación del Desempeño Energético

En este capítulo se desarrolla el análisis y evaluación del desempeño energético de los campus. Este análisis se basa en los métodos de análisis propuestos por la AChEE, considerando un criterio de evaluación basado en el coeficiente de correlación entre dos variables.

6.1. Factores Influyentes en el Consumo de Energía

En esta etapa se identifican los factores, asociados a la operación del campus y climáticos, que puedan influir en el consumo energético. Para esto se analizó la correlación entre el consumo energético del campus, representado por los datos de suministro, y los índices de desempeño institucional, factores internos, y las condiciones climáticas en el entorno del campus, factores externos.

En el caso del Campus Sur, los datos de suministro corresponden al registro de facturación mensual por electricidad desde Enero 2010 hasta Diciembre 2013. El suministro de gas no fue considerado debido que se contaba con una cantidad de datos insuficiente para establecer un análisis representativo de la situación energética del campus (sólo se manejan los datos mensuales del año 2012).

En el caso del Campus Beauchef, se analizan los datos de suministro de energía eléctrica correspondientes al período Enero 2009 hasta Diciembre 2013 buscando detectar los factores que influyen en el consumo energético del campus. El suministro de gas no fue considerado en la construcción del modelo debido a la falta de datos y un suministro comparativamente inferior.

6.1.1. Factores Internos

Se evaluó la influencia de los índices de desempeño institucional (correspondientes a cada campus) relacionados con el desempeño energético, publicados en los anuarios de la

Universidad de Chile¹³, sobre el consumo energético anual por medio del coeficiente de correlación. Los índices de desempeño institucional considerados en este estudio se muestran a continuación:

- Estudiantes de Pregrado
- Estudiantes de Postgrado
- Personal Académico
- Personal de Colaboración
- Proyectos de Investigación

El registro histórico de los índices de desempeño institucional se presentan en el Anexo A6. En la Tabla 25 se muestran los coeficientes de correlación del suministro de electricidad anual con los indicadores de desempeño institucional correspondientes a los últimos 4 años.

Ítem	Descripción	Coeficiente de Correlación	
		Campus Sur	Campus Beauchef
Investigación	Proyectos	-0,05	0,98
Personal	Académicos	-0,85	-0,31
	Colaboración	0,70	0,81
Estudiantes Pregrado	Nuevos	0,21	0,32
	Total	-0,97	0,87
	Titulados	0,57	-
Estudiantes Postgrado	Nuevos	0,87	0,46
	Total	0,93	0,81
	Titulados	0,63	0,86
Total Estudiantes	Nuevos	0,59	0,40
	Total	-0,61	0,85
	Titulados	0,60	-

Tabla 25 Coeficiente de correlación índices de operación y consumo energético.

En el Campus Sur, los coeficientes obtenidos muestran una mayor correlación del consumo de electricidad con la matrícula de estudiantes de postgrado. En tanto para el Campus Beauchef, se observa que los factores con mayor correlación con el consumo energético

¹³ Datos publicados en el sitio web oficial de la Universidad de Chile, correspondiente a los anuarios de los años 2008, 2009, 2010, 2011, 2012 y 2013.

corresponden a los proyectos realizados y la matrícula de alumnos (tanto pregrado como postgrado).

Es importante señalar que para el caso de una institución donde se realizan diversas actividades, como un campus universitario, el valor del índice de correlación no explica necesariamente el consumo energético de ésta. Sin embargo, los resultados anteriores pueden ser utilizados para establecer comparaciones entre las distintas funciones que cumple el campus.

6.1.2. Factores Externos

Utilizando la expresión presentada en el Capítulo 2 para cuantificar los Grados-Día, se calcularon los GDC y GDR utilizando los datos de temperatura media mensual registrados por la estación meteorológica Providencia¹⁴. Considerando las exigencias de confort y de algunos equipos de laboratorio, se determinó una temperatura base de 18 °C, para ambos casos GDC y GDR.

A fin de cuantificar la relación del consumo energético con las condiciones climatológicas en el campus, se determinó el coeficiente de correlación entre el consumo energético y GDC, GDR y los Grados-Día Absolutos. Los coeficientes obtenidos se muestran en la Tabla 26.

Coeficiente de Correlación			
Empalme	GDC	GDR	GD Absoluto
Antumapu	0,68	- 0,46	0,41
Veterinaria	0,53	- 0,45	0,22
Campus Sur	0,63	- 0,47	0,33
Blanco 2120	0,32	- 0,22	0,14
Beauchef 850	0,61	- 0,43	0,32
Tupper 2007	0,54	- 0,40	0,26
Blanco 2002	0,55	- 0,39	0,27
Campus Beauchef	0,59	- 0,42	0,29

Tabla 26 Correlación consumo eléctrico con temperatura media (en Grados-día).

Los coeficientes de correlación obtenidos para ambos campus resultan poco favorables para relacionar directamente el consumo energético con los Grados-Día, por lo que se probaron distintas alternativas, que incorporan la adición de una o más constantes, a fin de

¹⁴Fuente: www.wunderground.com

mejorar la correlación entre las variables. La metodología y resultados de las alternativas testeadas se presentan en el Anexo A7.

En el caso del Campus Sur, se verificó que se puede aumentar el coeficiente de correlación hasta en 0,85 (y alcanzar un coeficiente de determinación de 0,73) adicionando dos constantes a una expresión que depende de los Grados-Día. Dicha expresión se presenta a continuación:

$$E_{i,j} = 250 \cdot GDC_{i,j} + 150 \cdot GDR_{i,j} + Cte_i$$

Donde

- $E_{i,j}$ corresponde al suministro de energía eléctrica para el mes i , año j .
- $GDC_{i,j}$ y $GDR_{i,j}$ corresponden a grados-día de calefacción y refrigeración para el mes i , año j .
- Cte_{mes} corresponde a la constante de suministro mensual independiente de la temperatura, tal que

$$Cte_{mes} = \begin{cases} 150.000 & \text{si } i = 2 \quad (\text{Febrero}) \\ 190.000 & \text{si } i \neq 2 \quad (\text{Resto del año}) \end{cases}$$

En el caso del Campus Beauchef, se verificó que es posible aumentar el coeficiente de correlación hasta en 0,81 (y alcanzar un coeficiente de determinación de 0,65) gracias a la adición de dos constantes en una expresión que incorpora los Grados-Días. Esta expresión se presenta a continuación:

$$E_{i,j} = 336 \cdot GDC_{i,j} + 124 \cdot GDR_{i,j} + Cte_i$$

Donde

- $E_{i,j}$ corresponde al suministro de energía eléctrica para el mes i , año j .
- $GDC_{i,j}$ y $GDR_{i,j}$ corresponden a grados-día de calefacción y refrigeración para el mes i , año j .
- Cte_{mes} corresponde a la constante de suministro mensual independiente de la temperatura, tal que

$$Cte_{mes} = \begin{cases} 368.454 & \text{si } i = 2 \quad (\text{Febrero}) \\ 474.049 & \text{si } i \neq 2 \quad (\text{Resto del año}) \end{cases}$$

A partir de las expresiones anteriores se desarrolló un modelo de estimación del consumo energético para cada campus a partir de los factores internos y externos, el cual se presenta

en el Anexo A8. La cantidad de datos existente no permitió comprobar la validez del modelo, por lo que se deja propuesta la verificación de la aplicabilidad de este modelo. No obstante, se recomienda mantener registro, verificar y validar los factores que puedan influir en el consumo energético de cada campus.

6.2. Línea Base de Energía

La línea base de energía se construye a partir de los resultados de la revisión energética y tiene por objetivo servir como punto de referencia del desempeño energético del campus.

Se consideró como límite de medida a los alcances físicos establecidos durante la revisión energética en cada campus. De acuerdo a la disponibilidad de datos de suministro, se consideró un período de referencia anual, correspondiente al año 2012, para el Campus Sur, y el año 2013, para el Campus Beauchef.

De acuerdo con los criterios presentados por la AChEE, se cuentan a menos tres formas para el establecimiento de una línea base de energía [36]:

- Considerar el desempeño energético del período de referencia como línea base; corresponde a la alternativa más simple, permite comparar el desempeño energético anual.
- Establecer una línea base de acuerdo al desempeño energético mensual: resulta útil para consumos dependientes de las condiciones climatológicas o estacionales.
- Describir el desempeño energético a través de factores de producción u otros factores: se aplica especialmente en organizaciones que presentan una correlación directa del consumo energético con la producción.

Considerando los resultados de presentados en el punto anterior, en ambos campus se desestima el establecimiento de una línea base utilizando los factores internos y/o externos debido, principalmente, a un coeficiente de correlación (y determinación) insuficiente para establecer un modelo representativo del desempeño energético.

Dado lo anterior, la mejor alternativa posible para determinar una línea base corresponde al desempeño energético del campus durante el período de referencia. Esto se extrae directamente del balance energético presentado en la revisión energética. La línea base de cada campus se presenta a continuación.

Consumo Energía 2012 [kWh/año]			
Facultad	Electricidad	Gas	Total
Veterinaria	1.063.791	223.702	1.287.492
Forestal	98.852	33.501	132.353
Agronomía	1.370.990	237.278	1.608.269
Total Campus Sur	2.533.633	460.980	2.994.613

Tabla 27 Línea base Campus Sur.

Consumo Energía 2013 [kWh/año]			
Zona	Electricidad	Gas	Total
1	654.638	35.405	690.043
2	339.734		339.734
3	321.476		321.476
4	508.600		508.600
5	666.203	-	666.203
6	764.654	4.224	768.878
7	576.564	2.112	578.676
8	2.499.196	1.440	2.500.636
Total Campus Beauchef	6.331.065	43.181	6.374.246

Tabla 28 Línea base Campus Beauchef.

La Línea Base propuesta para cada campus, si bien resulta sencilla de elaborar, presenta desventajas importantes al momento de querer establecer comparaciones y cuantificar el ahorro de medidas de mejora en períodos distintos, ya que no incorpora el efecto de las variaciones del consumo de energía en el tiempo. Se recomienda corregir esta situación ponderando el valor del consumo de cada empalme por la variación histórica promedio del consumo en cada campus (que presenta un valor en torno al 4% anual en ambos campus).

Se deja propuesto verificar la aplicabilidad del modelo de consumo presentado en el Anexo A8 como línea base.

6.3. Indicadores de Desempeño Energético

Comúnmente el desempeño energético de una organización se encuentra asociado a ciertas variables, como la producción, la temperatura media u otras. Esto permite establecer una relación entre el consumo energético y algunas de estas variables, lo que da lugar a la construcción de indicadores de desempeño energético (IDE) que sirvan para cuantificar y comparar el rendimiento energético de la organización.

En el caso de las universidades, la heterogeneidad de las instituciones y la ambigüedad para definir indicadores de producción motivan el uso de IDE comunes y transversales, de manera de posibilitar la comparación entre distintas entidades. La información publicada en la web [37] [38] [39] [40] [41] [42], referente al desempeño energético de distintas instituciones educativas, sugiere el uso generalizado de al menos dos IDE: consumo de energía anual por superficie construida y consumo de energía anual por usuario.

En este punto cabe mencionar que los resultados de la correlación de variables con el consumo energético, obtenidos en el punto 6.1., desfavorecen la formulación de IDE en base a los factores presentados en ese punto. Dado lo anterior, y considerando los IDE utilizados por instituciones educacionales extranjeras, se proponen los IDE presentados en la Tabla 29.

Indicador	Electricidad		Gas	
	kWh/año/m ²	kWh/año/ usuario	kWh/año/m ²	kWh/año/ usuario
Agronomía	57,55	1.140,04	9,21	182
Veterinaria	76,72	994,54	16,72	217
Forestal	26,52	241,23	9,14	83
Campus Sur	60,88	953	11,55	181
Campus Beauchef	84,53	789,26	0,98	9,11
Campus Beauchef (2013)	87,49	792,54	0,60	5,47

Tabla 29 Indicadores de desempeño energético para el 2012, Campus Sur

En el caso del Campus Sur se consideraron los datos de suministro correspondientes al año 2012. En el caso de Campus Beauchef se considera tanto el 2012 como 2013. Para la construcción del indicador por superficie gruesa construida se consideró el total grueso de metros cuadrados construidos. La construcción del indicador por usuarios consideró datos anuales de matrícula de estudiantes (pregrado y postgrado) y personal de planta.

Se debe mencionar que, dada la complejidad del tipo de establecimiento donde se quiere implementar el SGE, existen ciertas variables asociadas al desempeño energético que los IDE propuestos no pueden representar. Se recomienda desarrollar otros IDE que consideren aspectos que puedan influir significativamente en el desempeño energético del campus.

Por otro lado, las diferencias observadas en los IDE de cada campus bien puede justificarse en estándares de confort distintos. Se deja propuesto elaborar una metodología que considere el estándar de confort en la cuantificación de los IDE.

Capítulo 7: Medidas de Eficiencia Energética

En este capítulo se presentan y evalúan Medidas de Eficiencia Energética (MEE) para cada campus, distinguiendo por facultad o zona en cada caso. Las MEE se proponen de acuerdo a las oportunidades de mejora identificadas en la revisión energética. La evaluación considera los criterios económicos presentados en el Capítulo 2.

7.1. Metodología

En el siguiente esquema se presenta la metodología utilizada para la proposición y evaluación de MEE. Esta metodología está basada en la estructura propuesta por +Energía para el Proyecto, la cual deriva directamente de la revisión energética, siendo consistente con la Norma.

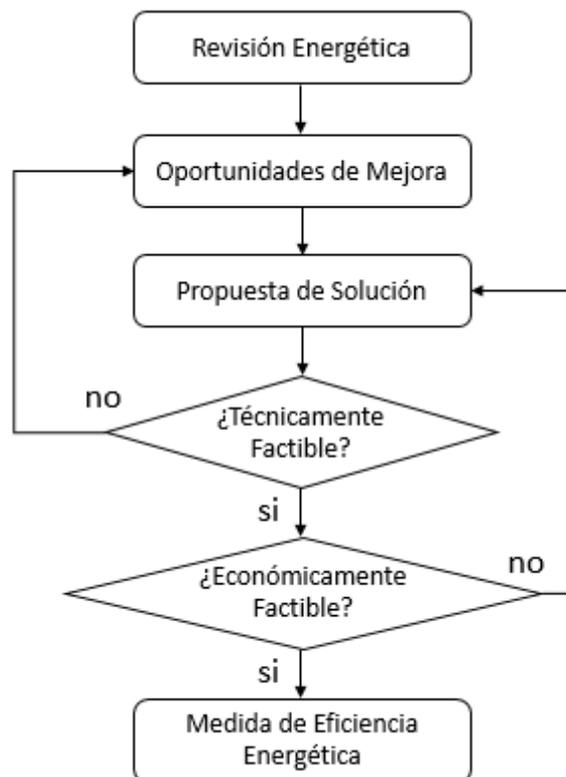


Ilustración 15 Metodología para la proposición y evaluación de MEE.

A partir de las oportunidades de mejora detectadas en la revisión energética se proponen soluciones que luego son evaluadas técnicamente, tomando en cuenta el impacto de la propuesta en la reducción del consumo energético, la información disponible y valores referenciales de experiencias similares. En caso de que la propuesta no resulte técnicamente factible, se examina nuevamente la línea base para proponer una nueva solución.

Si la propuesta resulta factible, ésta se evalúa económicamente utilizando los criterios VAN, TIR y PRI. En caso de presentar indicadores poco favorables, se reformula la propuesta buscando mejorar los resultados de la evaluación económica. Si la propuesta resulta económicamente factible, indicadores de evaluación favorables, se acepta como medida de eficiencia energética.

7.2. Propuestas

A continuación se presentan las propuestas factibles, tanto técnica como económicamente, que fueron seleccionadas para el proyecto. Las propuestas se clasifican de acuerdo al criterio propuesto por la Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE) presentado en la Tabla 30. Se debe notar que los cambios contractuales y normativos, relativos al uso y consumo de energía, se consideran como medidas de mejora.

Tipo de Medida	Descripción
A. Correcciones Básicas	A1- Rectificación de cobros y/o no conformidades / incumplimiento de normativa
	A2- Cambios contractuales y en la adquisición de energéticos
	A3- Mantenimiento y reparaciones básicas de equipos
B. Mejoramiento y Control Operacional	B1- Control, programación y coordinación de uso de equipos
	B2- Control y ajuste manual de variables de operación
	B3- Mejoramiento de condiciones físicas del entorno con influencia al comportamiento operacional
	B4- Incorporación de sistemas automáticos /avanzados de control
C. Mejoramiento Tecnológico	C1- Mejoramiento por reemplazo de componentes
	C2- Mejoramiento por integración de componentes adicionales
D. Recambio e Innovación Tecnológica	D1- Reemplazo de equipos de alta inversión en sistemas o instalaciones por modelos de mayor eficiencia
	D2- Integración de elementos / sistemas adicionales que permiten el uso de fuentes adicionales de energía
	D3- Cambio o innovación tecnológica

Tabla 30 Clasificación de MEE AChEE.

La factibilidad técnica de las propuestas de mejora se evaluó considerando la información disponible para la implementación, el potencial de ahorro, la posibilidad de realizar los cambios requeridos por la propuesta.

En la Tabla 31 se exponen las MEE para cada facultad del Campus Sur.

Facultad	Tipo de Medida	N°	Nombre Medida	Ahorro Energía¹⁵ (%)
Agronomía	A2	1	Cambio de tarifa eléctrica	N.A. ¹⁶
	A1	2	Monitoreo valor GAS	N.A.
	A1	3	Evaluación de instalación de un sistema de climatización eficiente en edificio K	> 5
	A1	4	Evaluación técnica del sistema de refrigeración en edificio U	> 1
	A1	5	Evaluación de la aislación térmica de la envolvente en edificio K	> 1
Veterinaria	B1	6	Control manual de la demanda durante horas de punta	N.A.
	B1	7	Protocolo de operación eficiente en laboratorios	< 5,4
	A1	8	Evaluación de aislación térmica de la envolvente en Farmacología	2
	C1	9	Reemplazo de luminarias incandescentes	1
Forestal	A1	10	Monitoreo valor de GAS	N.A.
	A1	11	Evaluación de instalación de un sistema de calefacción eficiente en edificio A	6
	A1	12	Adquisición de notebooks al momento de reponer computadores de oficina	-

Tabla 31 Medidas de eficiencia propuestas en el Campus Sur.

La Tabla 32 presenta la MEE propuestas para cada zona del Campus Beauchef.

¹⁵ Ahorro porcentual de energía con respecto al consumo de la facultad.

¹⁶ No Aplica; este ítem se incluye en la tabla por completitud.

Zona	Tipo Medida	N°	Nombre de Medida	Ahorro Energía ¹⁷ Zona (%)
Zona 1	A2	1	Estudio de demanda media de hora punta, para eventual cambio de tarifa.	N.A.
	B1	2	Estudio de impacto de la operación sobre consumo por climatización	3
	C1	3	Reemplazo de luminarias halógenas por reflectores de área de ahorro de energía.	12
Zona 2	B1	4	Estudio de la actividad de laboratorios.	6,3
Zona 3	B1	5	Evaluación de reemplazo de equipos de aire acondicionado antiguos por equipos más eficientes	>1
Zona 4	B1	6	Evaluación de la actividad en laboratorios	10
Zona 5	A2	7	Estudio de demanda máxima de hora punta, para eventual cambio de tarifa.	12,7
	D1	8	Evaluación de reemplazo de sistema de climatización	18
	C1	9	Reposición de computadores de escritorio por notebooks en oficinas	5
Zona 6	A2	10	Estudio de demanda media de hora punta, para eventual cambio de tarifa.	N.A.
	B1	11	Estudio de impacto de la operación sobre consumo por climatización	5
Zona 7	B1	12	Evaluación de la operación de equipos de aire acondicionado en laboratorios	3
Zona 8	A2	13	Cambio a tarifa eléctrica AT4.3.	N.A.
	C2	14	Evaluación de cierre de pasillos en centro de datos	<1
	B1	15	Estudio de impacto de la operación sobre consumo por climatización	17
	C1	16	Reposición de equipos por computadores eficientes en sala de computación (CEC)	1

Tabla 32 Medidas de eficiencia propuestas en el Campus Beauchef.

Dados los alcances del trabajo, parte de las propuestas corresponden a evaluaciones técnicas de sistemas y equipos de mayor complejidad que presentan consumos significativos. Estas evaluaciones tienen por objetivo identificar oportunidades de mejora concretas que puedan ser evaluadas de forma confiable.

¹⁷ Ahorro de energía porcentual con respecto al consumo de cada zona.

7.3. Evaluación Económica

A continuación se presenta la evaluación económica de cada medida de acuerdo a los criterios de evaluación económica presentados en el Capítulo 2. Conviene aclarar que las medidas que requieren acciones de gestión no exigen inversión, por lo que los criterios económicos, como la TIR y el PRI, no se aplican en este caso.

Por otro lado, las medidas que proponen estudios técnicos no fueron evaluadas económicamente. Esto se justifica en que el potencial de ahorro real se determina una vez realizado el estudio, del cual se desprende una medida concreta y un costo asociado a ésta. No obstante, se presenta un valor de ahorro referencial de acuerdo a bibliografía, que sirva para orientar la decisión de solicitud de un estudio.

En la Tabla 33 y la Tabla 34 se presenta la evaluación de las medidas correspondientes al Campus Sur y Campus Beauchef respectivamente. Los cálculos realizados para evaluar las propuestas se presentan en el Anexo A9.

Facultad	N° MEE	Inversión (MM\$)	PRI (años)	TIR (%)	VAN 10 años (MM\$)
Agronomía	1	0,1	0,08	-	62
	2	0	-	-	29
	3	-	-	-	-
	4	-	-	-	-
	5	-	-	-	-
Veterinaria	6	0	-	-	36,7
	7	0	-	-	46
	8	-	-	-	-
	9	0,43	0,33	361	10,4
Forestal	10	-	-	-	4,8
	11	-	-	-	-
	12	0	-	-	1,5

Tabla 33 Evaluación de las MEE propuestas para el Campus Sur.

Zona	N° MEE	Inversión (MM\$)	PRI (años)	TIR (%)	VAN 10 años (MM\$)
Zona 1	1	0,1	<1	2300	17.4
	2	-	-	-	-
	3	6.9	<1	119	61.6
Zona 2	4	-	-	-	-
Zona 3	5	-	-	-	-
Zona 4	6	-	-	-	-
Zona 5	8	-	-	-	-
	9	-	-	-	17,8
Zona 6	11	-	-	-	-
Zona 7	12	-	-	-	-
	13	0,1	<1	7200	52.8
	14	-	-	-	-
	15	-	-	-	-
	16	4.5	3	25	4.2

Tabla 34 Evaluación de las MEE propuestas para el Campus Beauchef.

Capítulo 8: Conclusiones

8.1. Conclusiones del Proyecto

En primer lugar, los resultados del análisis de brechas muestran que resulta viable la implementación de un SGE en ambos campus. Este trabajo de memoria aportó en la implementación de la mayor parte de los requisitos definidos en el punto 4.4. *Planificación Energética*. Se deja a las personas encargadas del proyecto en cada campus la definición de objetivos, metas y planes de acción energéticos, que servirá para implementar completamente este punto y avanzar a la etapa siguiente.

La revisión energética permitió caracterizar energéticamente cada campus. Las fuentes de energía identificadas corresponden en ambos casos a electricidad y gas, sin embargo el uso de este último es más relevante en el Campus Sur. Los usos de energía más significativos corresponden a la mantención del confort térmico en las instalaciones de ambos campus. No obstante, se advierten diferencias en los equipos utilizados para este propósito: mientras que en el Campus Sur existe una mayor utilización de equipos de tipo calefacción, en el Campus Beachef se utilizan principalmente equipos de tipo climatización.

Se determinó un potencial de ahorro basado en las referencias encontradas en literatura y valores estándares de equipos de menor complejidad técnica. Se recomienda realizar estudios más acabados en aquellos consumos más significativos, a fin de determinar un potencial de ahorro más preciso.

Se recomienda mantener registro, verificar y validar año a año las variables influyentes en el consumo energético que puedan servir para cuantificar el desempeño energético del campus.

La línea base de energía se determinó de igual forma en ambos campus. Siguiendo un criterio de simplicidad y aplicabilidad, se fijó la línea base como el desempeño energético del campus durante el período de referencia. El problema principal de esta metodología, es la contabilización de la variación natural del consumo en cada campus. Por tanto, se recomienda considerar la tendencia de variación histórica de la demanda en cada campus para corregir esta situación.

Los IDE propuestos, correspondientes al consumo anual por superficie construida y por usuario, pueden no representar fielmente el desempeño energético del campus. Se recomienda desarrollar otros indicadores que incluyan las variables influyentes en el consumo.

Por último, las propuestas tienen un carácter de recomendación ya que muchas de ellas plantean la realización de estudios técnicos. Se sugiere implementar todas aquellas propuestas que no requieran inversión y utilizar los ahorros generados por éstas en el financiamiento de las otras que sí requieren inversión.

8.1.1. Conclusiones Campus Sur

Se identificaron brechas en todos los requisitos que define la Norma para la implementación de un SGE. Resulta relevante, para la implementación de un SGE en el campus, la designación de un representante y una unidad encargada de la gestión energética,

La revisión energética indica que cerca de tres cuartos del suministro energético del campus corresponde a electricidad, mientras que la energía restante proviene del suministro de gas. Mientras que la facultad de Agronomía representa más de la mitad del consumo de energía del campus. Por otro lado, los consumos energéticos más significativos, que componen el 80% de la energía total utilizada en el campus, corresponden a climatización, equipos de laboratorio, calefacción, refrigeración e iluminación.

Se identificaron oportunidades de mejora en los consumos energéticos más significativos, que componían el 75% del consumo en cada facultad. Se estimó un potencial de ahorro de un 12% en el campus.

En tanto a los IDE estimados, si bien las diferencias entre los campus pueden ser atribuibles a actividades distintas desarrolladas, también se deben considerar posibles diferencias en el estándar de confort de cada institución.

Por último, gran parte de las MEE propuestas no requiere inversión, por lo que se recomienda priorizar este tipo de medidas. En tanto, se sugiere que la solicitud de estudios técnicos se realice preferencialmente en los consumos más significativos y con mayor potencial de reducción.

8.1.2. Conclusiones Campus Beauchef

El análisis de brechas revela que resulta viable implementar la mayoría de los requisitos definidos en la norma. Un logro importante en este sentido es la creación de una unidad

encargada del desempeño energético del campus, en este caso la oficina de sustentabilidad.

El campus se alimenta principalmente de electricidad, representado un 99% del suministro, mientras el 1% restante corresponde al suministro de gas. El consumo energético más importante se encuentra en el edificio Blanco 2120. Por otro lado, el 80% de la energía utilizada en el campus se distribuye en climatización, computación, iluminación y equipos de laboratorio. En particular, los equipos de climatización representan casi el 40% del consumo energético total.

Se estimó un potencial de ahorro de un 18%, el cual se apoya en los valores consultados en literatura. Se recomienda realizar estudios técnicos que permitan establecer un potencial preciso y medidas concretas de mejora.

Las medidas propuestas se deben considerar como una recomendación para el plan de acción. Se sugiere implementar en primer lugar aquellas medidas sin costo, las que puedan financiar, por medio del ahorro generado, las medidas que requieren inversión.

8.2. Conclusiones Trabajo de Título

Como primer punto, la realización de este trabajo aportó en el Proyecto a través de la implementación de los requisitos definidos en la Norma correspondientes a la planificación energética. Se recomienda a ambos campus utilizar los resultados de este trabajo para continuar con la implementación del SGE por medio de la implementación de algunas de las medidas propuestas y la verificación de los resultados.

En segundo lugar, se debe mencionar que el plan de trabajo debió adaptarse a los plazos y condiciones que se fueron dando en el proyecto. El plazo estipulado para la ejecución del proyecto en Campus Sur se extendió más de un mes sobre la fecha inicialmente estipulada. Este plazo debió ser compensado ajustando el plazo del trabajo de Campus Beauchef.

El análisis de brecha muestra que, en general, el cumplimiento de los requisitos es viable. Se deja como trabajo futuro desarrollar un plan de cierre de brechas. Este plan puede apoyarse en la metodología desarrollada por la AChEE.

Se cumplieron los objetivos de la revisión energética, logrando identificarse las fuentes energéticas existentes, áreas que representan consumos significativos, los factores que

influyen en el consumo de energía y las oportunidades de mejora en cada campus. En ambos campus, se recomienda realizar estudios técnicos detallados sobre las áreas identificadas como energéticamente significativas.

La construcción de la línea base consideró la validez de las relaciones de consumo establecidas en la revisión energética y la simplicidad del modelo. Queda propuesta la validación y mejora del modelo de consumo propuesto en el anexo.

Se establecieron IDE del campus basados en la superficie construida y el número de usuarios, apoyándose en ejemplos de instituciones extranjeras. Sin embargo, existen ciertas variables asociadas a las actividades del campus, influyentes en el desempeño energético, que estos IDE no pueden representar, como el estándar de confort. Se recomienda, para un trabajo futuro, incluir el impacto del confort en los IDE elaborados.

Las herramientas de evaluación económica utilizadas no resultan del todo adecuadas para evaluar medidas relacionadas con acciones de gestión y medidas que no requieren inversión. Se recomienda, buscar un criterio alternativo que permita evaluar de mejor manera este tipo de medidas.

En cuanto a las medidas propuestas, se advierte que en ambos campus existen carreras idóneas para desarrollar ideas y planes de acción de eficiencia energética. Se recomienda aprovechar el potencial de los estudiantes para implementar, operar y mantener un SGE.

Por último, este trabajo corresponde a una primera etapa en la implementación de un SGE en estos campus. Se deja propuesto el desarrollo de la implementación y verificación de las propuestas presentadas. También, proyectando el trabajo a una escala superior, se deja propuesto el estudio de gestión de la demanda, a través de aplicaciones de eficiencia energética, en los sistemas eléctricos.

Bibliografía

- [1] J. Flanagan, «Driving Up Profits and Reducing Emissions: The Benefits of ISO 50001,» Ceram, Staffordshire, Reino Unido, s.a..
- [2] European Commission, «Europe 2020,» European Commission, [En línea]. Available: http://ec.europa.eu/europe2020/index_en.htm. [Último acceso: 8 Julio 2014].
- [3] División de Prospectiva y Política Energética, «Balance Nacional de Energía 2012,» Ministerio de Energía, Santiago, Chile, 2012.
- [4] Comité Técnico de la Plataforma Escenarios Energéticos 2030, «Escenarios Energéticos Chile 2030,» 2013.
- [5] G. E. y. R. H. C. Andrés Alonso, *Seminario AMCHAM Chile*, Santiago, Chile: Codelco, 2012.
- [6] G. Orellana, «pulso.cl,» 24 Junio 2014. [En línea]. Available: <http://www.pulso.cl/noticia/empresa-mercado/empresa/2014/06/11-45552-9-cartera-de-proyectos-de-ernc-supera-los-16-mil-mw.shtml>. [Último acceso: 2 Julio 2014].
- [7] Ministerio de Energía, «Agenda de Energía un Desafío País, Progreso para Todos,» Ministerio de Energía, Santiago, Chile, 2014.
- [8] J. L. Tejera, «La Norma UNE 216501:2009 DE AUDITORÍA ENERGÉTICA, Requisitos y Experiencias,» XII CLER, Buenos Aires, Argentina, 2010.
- [9] Agencia Chilena de Eficiencia Energética, «Guía de Implementación de Sistema de Gestión de la Energía basado en la norma ISO 50.001,» Ministerio de Energía, Santiago, 2012.
- [10] Instituto Nacional de Normalización Chile, «Norma Chilena NCH ISO 50001:2011,» Santiago, Chile, 2011.
- [11] Organización Internacional de Normalización (ISO), «Gana el Desafío de la Energía con ISO 50.001,» ISO, Ginebra, Suiza, 2011.
- [12] Agencia Chilena de Eficiencia Energética, «Programa ISO 50.001,» [En línea]. Available: <http://guiaiso50001.cl/preguntas-frecuentes/>. [Último acceso: 7 Julio 2014].
- [13] Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología (CITRA) de la Universidad de Talca, «Proyecto SEPOR: Importancia del uso de Registros Agroclimáticos Grados Día,» Comisión Nacional de Riego, s.a..
- [14] E. Lahura, «El Coeficiente de Correlación y Correlaciones Espúreas,» Documento de Trabajo 218, 2003. [En línea]. Available:

<http://departamento.pucp.edu.pe/economia/images/documentos/DDD218.pdf>. [Último acceso: 5 Julio 2014].

- [15] Programa de Estudios e Investigaciones en Energía (PRIEN), Universidad de Chile, «Guía para la Calificación de Consultores en Eficiencia Energética,» Santiago, Chile, 2010.
- [16] Ministerio de Energía, «Plan de Acción de Eficiencia Energética 2020,» Santiago, 2013.
- [17] AChEE, «www.acee.cl,» [En línea]. Available: www.acee.cl. [Último acceso: Diciembre 2013].
- [18] Ministerio de Energía, «antiguo.minenergia.cl,» [En línea]. Available: www.minenergia.cl. [Último acceso: 30 Junio 2014].
- [19] Consejo Nacional de Producción Limpia, «www.cpl.cl,» [En línea]. Available: <http://www.cpl.cl/Acuerdos%28APL%29/sector.php?id=75>. [Último acceso: 30 Junio 2014].
- [20] Consejo Nacional de Producción Limpia, «Acuerdo de Producción Limpia, Campus Sustentable,» Santiago-Chile, 2012.
- [21] Comisión Nacional de Energía, «www.cne.cl,» [En línea]. Available: <http://www.cne.cl/institucional/quienes-somos>. [Último acceso: 30 Junio 2014].
- [22] P. Sanchez, «Tendencias en Climatización,» Revista Bit, Cámara Chilena de la Construcción, Septiembre 2008. [En línea]. Available: <http://www.revistabit.cl/revistabit/www/admintools/>. [Último acceso: 28 Junio 2014].
- [23] L. H. Klaus Peter Schmid, «Revista Frío y Calor N°92: Eficiencia Energética en Sistemas de Refrigeración,» Cámara Chilna de Refrigeración y Climatización A.G. , Santiago, Chile, s.a..
- [24] WWF España, «Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en Oficinas,» 2008.
- [25] University of California, Irvine, «Smart Laboratories Cut Energy Cosumption More Than a Half,» California, EE.UU., 2013.
- [26] The University of British Columbia, «[ubc.ca](http://www.ubc.ca),» 2014. [En línea]. Available: <http://sustain.ubc.ca/campus-initiatives/green-research/shut-the-sash>. [Último acceso: 6 Julio 2014].
- [27] CIENYTEC LTDA., «CIENYTEC: INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS Y EQUIPOS PARA LABORATORIO,» s.a.. [En línea]. Available: <http://www.cienytec.com/lab2incubadora.htm>. [Último acceso: 3 Agosto 2014].
- [28] U.S. Department of Energy, «How Energy-Efficient Light Bulbs Compare with Traditional Incandescent,» 28 Julio 2014. [En línea]. Available: <http://energy.gov/energysaver/articles/how-energy-efficient-light-bulbs-compare-traditional-incandescents>. [Último acceso: 4 Agosto 2014].

- [29] KUHN S.A., «KUHN S.A. Webstore,» s.a.. [En línea]. Available: <http://www.kuhn.cl/webstore/iluminacionled/reflectores-led.html>. [Último acceso: 3 Agosto 2014].
- [30] Energy Star, «Office Equipment Savings Calculator,» Mayo 2013. [En línea]. Available: <http://www.energystar.gov/certified-products/detail/computers>. [Último acceso: 12 Julio 2014].
- [31] Energy Star UE, «Calculadora de Energía Computadoras,» [En línea]. Available: http://www.eu-energystar.org/es/es_008.shtml. [Último acceso: 7 Julio 2014].
- [32] Schneider Electric Argentina, «Eficiencia Energética, Manual de Soluciones,» s.a..
- [33] F. S. d. C. I. Vadillo, «Control de equipos de aire acondicionado con compresores scroll con variación de velocidad,» Danfoss S.A., s.a..
- [34] K. B. V. A. John Nieman, «Documento Técnico 135: Cerramiento de pasillos calientes vs. pasillos fríos en centros de datos,» Schneider Electric, s.a..
- [35] Eropuean Telecommunications Network Operator's Association (ETNO), «Task Force, Anual Report 2012,» 2012.
- [36] T. M. Carrascosa, «Establecimiento de la línea base,» Agencia Chilena de Eficiencia Energética, Santiago, Chile, 2013.
- [37] Gas Natural Fenosa, «Resumen de los Estudios Realizados en el Campus de la Universidad de Alcalá de Henares,» Madrid, España, 2011.
- [38] Carnegie Mellon University (CMU), «ISCN-GULF Sustainable Campus Charter Report 2011/12,» Pittsburgh, EE.UU., 2012.
- [39] Barnard University, «The University Challenge Plan YC,» New York, EE.UU., 2010.
- [40] Universidad de Cádiz, «Memoria 2011/2012 Universidad de Cádiz,» 2012. [En línea]. Available: <http://memoria.uca.es/2011-2012/graficas/>. [Último acceso: 20 Julio 2014].
- [41] Universidad de Sevilla, «Consumo de Energía Eléctrica. Universidad de Sevilla,» s.a.. [En línea]. Available: http://smantenimiento.us.es/uma/consumo_electricidad.php. [Último acceso: 10 Julio 2014].
- [42] Universidad de Maastricht, «Investigating innovative ways to increase energy efficiency a Maastricht University - a pilot,» Maastricht, Holanda, 2012.
- [43] Labs 21, «Labs for the 21st century,» [En línea]. Available: <http://www.labs21century.gov/>. [Último acceso: 6 Julio 2014].

[44] Rapid Tables, «Online references and tools,» [En línea]. Available:
<http://www.rapidtables.com/calc/light/how-lumen-to-watt.htm>.

[45] M. D, «DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO PARA EMPRESA DE TELECOMUNICACIONES, Memoria para optar al título de Ingenierp Civil Industrial.,» Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Chile, Santiago, 2013.

Anexos

A1. Organigrama facultades del Campus Sur

A continuación se presentan los organigramas de las facultades que integran el Campus Sur.

Ciencias Agronómicas

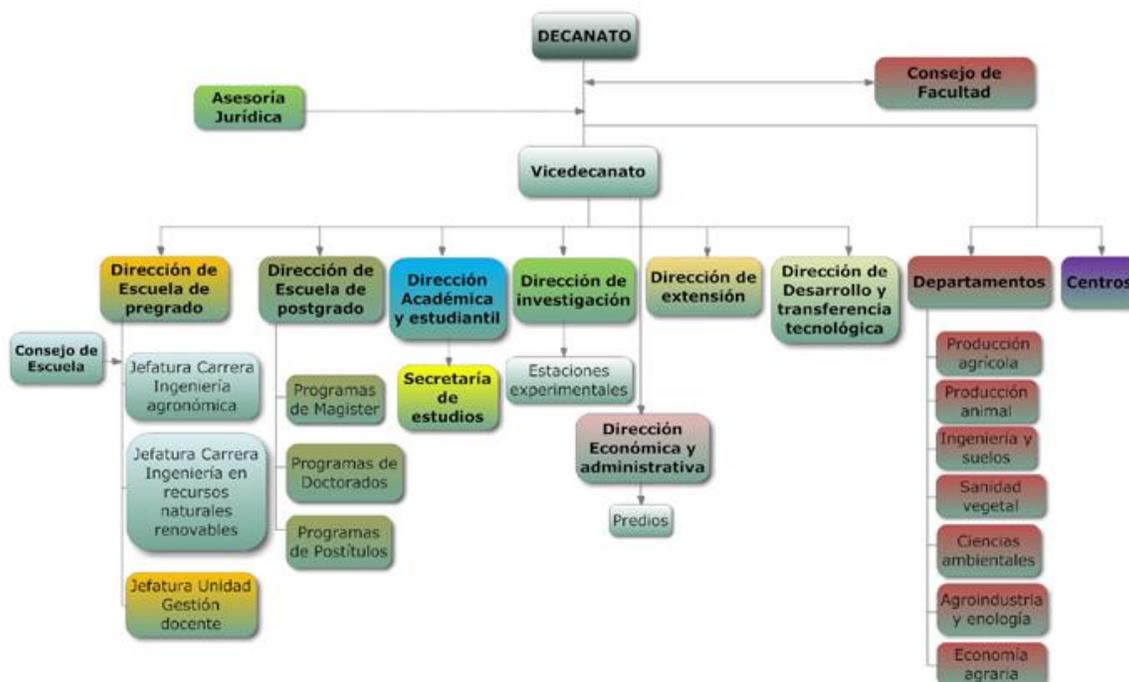


Ilustración 16 Organigrama Agronomía. Fuente: sitio web de la facultad.

Ciencias Veterinarias y Pecuarias



Ilustración 17 Organigrama Veterinaria. Elaboración propia, en base a los datos proporcionados por el sitio web.

Ciencias Forestales y de Conservación de la Naturaleza

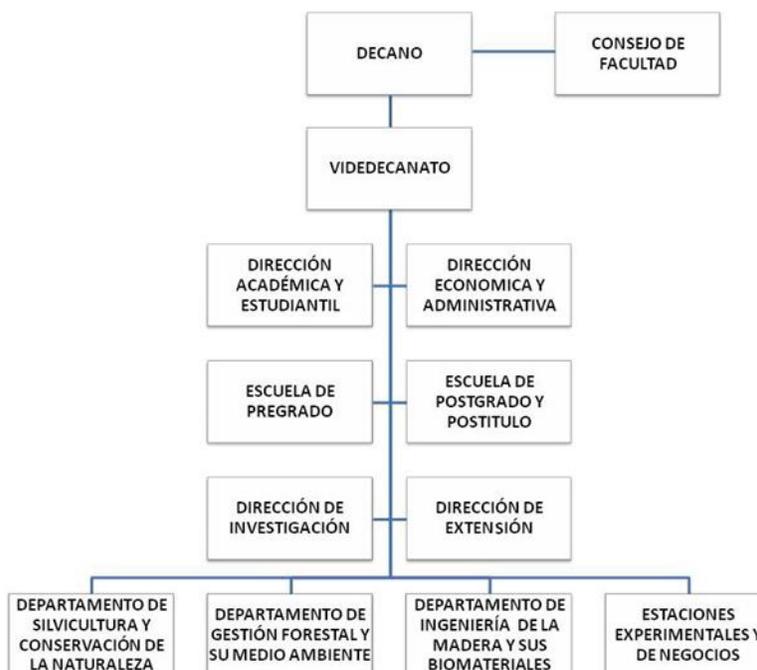


Ilustración 18 Organigrama Forestal. Fuente: sitio web de la facultad.

INTA

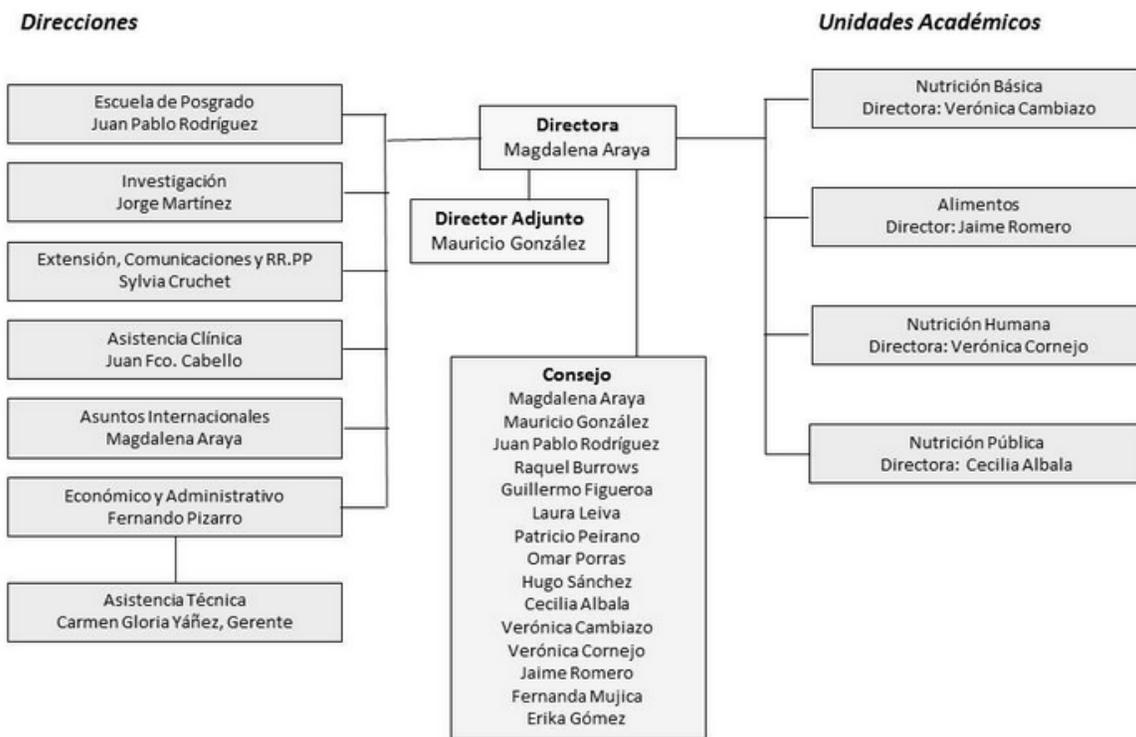


Ilustración 19 Organigrama INTA. Fuente: sitio web del instituto.

A2. Identificación de Brechas

A continuación se presenta el detalle de los documentos existentes y las brechas identificadas en el Campus Sur.

Cumplimiento de los requisitos expuestos en la norma ISO 50.001				
Requisito		Aspectos Requeridos	Campus Sur	Campus Beauchef
4.1	Requerimientos generales			
	Generalidades	Establecer, documentar, implementar, mantener y mejorar un SGE de acuerdo con los requisitos de esta norma.	NO	NO
		Definir y documentar el alcance y límite del SGE.	NO	NO
		Determinar cómo se debe cumplir los requisitos de esta norma a fin de lograr la mejora continua de su desempeño energético y de su SGE.	NO	NO
4.2	Responsabilidad de la dirección			
4.2.1	Alta dirección	Definir, establecer, implementar y mantener una política energética.	NO	SI
		Designar un representante de la dirección y aprobar la formación de un equipo de gestión de la energía.	NO	SI
		Proporcionar los recursos necesarios para establecer, implementar, mantener y mejorar el SGE y desempeño energético resultante.	NO	NO
		Identificar el alcance y límites que se deben abordar en el SGE.	NO	NO
		Comunicar la importancia de la gestión de la energía a los integrantes de la organización.	NO	NO
		Asegurar que los objetivos y metas energéticas sean establecidos.	NO	NO
		Asegurar que los IDE sean apropiados para la organización.	NO	NO
		Considerar el desempeño energético en la planificación a largo plazo.	NO	NO
		Asegurar que los resultados se miden e informan a intervalos determinados.	NO	NO
		Realizar revisiones.	NO	NO
4.2.2	Representante de la dirección	Asegurar que el SGE se establece, implementa, mantiene y mejora continuamente según esta norma.	NO	NO
		Identificar a la(s) persona(s) para trabajar con el representante de la dirección en apoyo a las actividades de gestión de la energía.	NO	SI
		Informar a la alta dirección sobre el desempeño energético.	NO	NO

Tabla 35 Cumplimiento de requisitos definidos en la Norma ISO 50.001 (parte 1).

Cumplimiento de los requisitos expuestos en la norma ISO 50.001				
Requisito		Aspectos Requeridos	Campus Sur	Campus Beauchef
4.2.2	Representante de la dirección	Informar a la alta dirección sobre el desempeño del SGE.	NO	NO
		Asegurar que la planificación de las actividades de gestión de la energía está diseñada para apoyar la política energética de la organización.	NO	NO
		Definir y comunicar las autoridades y responsabilidades con el fin de facilitar la gestión eficaz de la energía.	NO	NO
		Determinar los criterios y métodos necesarios para asegurar que tanto la operación y control del SGE son eficaces.	NO	NO
		Promover la toma de conciencia de la política y los objetivos energéticos en todos los niveles de la organización.	NO	NO
4.3	Política energética			
	Generalidades	Apropiada a la naturaleza y escala del uso y consumo de energía de la organización.	NO	SI
		Incluye un compromiso de mejora continua en el desempeño energético.	NO	NO
		Incluye un compromiso para asegurar la disponibilidad de la información y de los recursos necesarios para lograr los objetivos y metas.	NO	NO
		Incluye un compromiso para cumplir con los requisitos legales aplicables y con otros requisitos a los que la organización suscribe relacionados con el uso, consumo y eficiencia energética.	NO	NO
		Proporciona el marco para establecer y revisar los objetivos y metas energéticas.	NO	NO
		Apoya la compra de productos y servicios energéticamente eficientes y de diseño para la mejora del desempeño energético.	NO	NO
		Se documenta y comunica a todos los niveles dentro de la organización.	NO	NO
		Se revisa periódicamente y se actualiza cuando resulta necesario.	NO	NO
4.4	Planificación energética			
4.4.1	Generalidades	Ejecutar y documentar un proceso de planificación energética.	NO	NO
		Consistente con la política energética y debe conducir a actividades que mejoren continuamente el desempeño energético.	NO	NO
		Debe implicar una revisión de las actividades de la organización que puedan afectar el desempeño energético.	NO	NO
4.4.2	Requerimientos legales y otros requisitos	Identificar, implementar y tener acceso a los requisitos legales aplicables y otros requisitos a los cuales la organización se suscribe en relación al uso, consumo y eficiencia energética.	NO	NO

Tabla 36 Cumplimiento de requisitos definidos en la Norma ISO 50.001 (parte 2).

Cumplimiento de los requisitos expuestos en la norma ISO 50.001				
Requisito		Aspectos Requeridos	Campus Sur	Campus Beauchef
4.4.2	Requerimientos legales y otros requisitos	Determinar cómo estos requisitos aplican al uso, consumo y eficiencia energética, y asegurar que estos se consideren en el establecimiento, implementación y mantención del SGE.	NO	NO
		Revisar estos requisitos a intervalos definidos.	NO	NO
4.4.3	Revisión energética	Desarrollar, registrar y mantener una revisión energética.	NO	NO
		Documentar metodología y criterios para desarrollar la revisión energética.	NO	NO
		Analizar el uso y consumo de energía en base a la medición y otros datos, es decir: <ul style="list-style-type: none"> - Identificar las fuentes de energía; - Evaluar el uso de energía pasado y presente; 	NO	NO
		En base al uso y consumo de energía, identificar las áreas de uso significativo de la energía, es decir: <ul style="list-style-type: none"> - identificar las instalaciones, equipos, sistemas, procesos y personal de trabajo para o en nombre de la organización, que afecten significativamente el uso y consumo de energía; - identificar otras variables pertinentes que afecten los usos significativos de energía; - determinar el desempeño energético actual de las instalaciones, equipos, sistemas, procesos en relación a los usos significativos de energía identificados; - estimar el uso y consumo de energía futuros. 	NO	NO
		Identificar, priorizar y registrar oportunidades para mejorar el desempeño energético.	NO	NO
		Actualizar la revisión energética a intervalos definidos y en respuesta a cambios en las instalaciones, equipos, sistemas o procesos.	NO	NO
4.4.4	Línea base de energía	Establecer una línea base de energía usando la información de la revisión energética inicial, considerando un período de datos adecuados al uso y consumo de energía de la organización.	NO	NO
		Ajustar la línea base cuando ocurra alguno de los siguientes casos: <ul style="list-style-type: none"> - los IDE ya no reflejan el uso y consumo de energía de la organización, o - se han producido cambios importantes en los procesos, los patrones operacionales o los sistemas de energía, o - están de acuerdo a un método predeterminado. 	NO	NO
		Mantener y registrar la línea base.	NO	NO

Tabla 37 Cumplimiento de requisitos definidos en la Norma ISO 50.001 (parte 3).

Cumplimiento de los requisitos expuestos en la norma ISO 50.001				
Requisito		Aspectos Requeridos	Campus Sur	Campus Beauchef
4.4.5	Indicadores de desempeño energético	Identificar IDE adecuados para el seguimiento y medición del desempeño energético.	NO	NO
		Registrar y revisar la metodología para determinar y actualizar los IDE en forma regular.	NO	NO
		Revisar y comparar los IDE con la línea base de energía, cuando sea apropiado.	NO	NO
4.4.6	Objetivos energéticos, metas energéticas y plan de acción de gestión de la energía	Establecer, implementar y mantener los objetivos eenergéticos y metas energéticas documentados, en las funciones, niveles, procesos o instalaciones pertinentes dentro de la organización.	NO	NO
		Establecer plazos para lograr objetivos y meta.	NO	NO
		Los objetivos y metas deben ser consistentes con la política energética. Las metas deben ser consistentes con los objetivos.	NO	NO
		Establecer, implementar y mantener planes de acción para lograr objetivos y metas. Los planes deben incluir: - asignación de responsabilidades; - medios y plazos en los cuales se han de lograr las metas individuales; - declaración del método mediante el cual se debe verificar una mejora en el desempeño energético; y - declaración del método de verificación de los resultados.	NO	NO
		Documentar y actualizar a intervalos definidos.	NO	NO
4.5	Implementación y operación			
4.5.1	Generalidades	Utilización de los planes de acción y otros productos resultantes del proceso de planificación para la implementación y operaciones.	NO	NO
4.5.2	Competencias, formación y toma de conciencia	Asegurar la competencia de toda persona que trabaje para, o en nombre de, la organización que se ecuentre relacionada con los consumos significativos de energía.	NO	NO
		Identificar las necesidades de formación asociadas con el control de los usos significativos de energía y la operación del SGE.	NO	NO
		Proporcionar formación o tomar otras acciones para cumplir con estas necesidades.	NO	NO
		Mantener registros apropiados.	NO	NO
		Asegurar la toma de conciencia de las personas que trabajan para o en su nombre respecto a los aspectos relacionados con el SGE y la implementación de un SGE.	NO	NO
4.5.3	Comunicación	Comunicar internamente lo que respecta al desempeño energético y SGE.	NO	NO

Tabla 38 Cumplimiento de requisitos definidos en la Norma ISO 50.001 (parte 4).

Cumplimiento de los requisitos expuestos en la norma ISO 50.001				
Requisito		Aspectos Requeridos	Campus Sur	Campus Beauchef
4.5.3	Comunicación	Establecer e implementar un proceso mediante el cual cualquier persona que trabaje para o en nombre de la organización pueda hacer comentarios o sugerir mejoras al SGE.	NO	NO
		En el caso de querer comunicar externamente la información acerca de su política energética, SGE y desempeño energético, se debe establecer e implementar un método para la comunicación externa.	NO	NO
4.5.4	Documentación	Registrar la información para describir los elementos del SGE y su interacción. La documentación del SGE debe incluir: <ul style="list-style-type: none"> - el alcance y los límites del SGE; - la política energética; - los objetivos, metas y planes de acción energéticos; - los documentos, incluyendo registros, requeridos por esta norma; y - otros documentos determinados por la organización como necesarios. 	NO	NO
		Establecer, implementar y mantener procedimientos necesarios para: <ul style="list-style-type: none"> - aprobar los documentos en cuanto a su adecuación antes de su emisión; - revisar y actualizar los documentos periódicamente; - asegurar que se identifican los cambios y el estado de revisión actual de los documentos; - asegurar que las versiones pertinentes de los documentos aplicables estén disponibles en los puntos de uso; - asegurar que los documentos permanezcan legibles y fácilmente identificables; - asegurar que los documentos de origen externo estén identificados y se controle su distribución; y - prevenir el uso no intencionado de documentos obsoletos. 	NO	NO
4.5.5	Control operacional	Identificar y planificar aquellas operaciones y actividades de mantenimiento relacionadas con los usos significativos de energía a través de: <ul style="list-style-type: none"> - criterios para la operación y mantenimiento eficaces de los usos significativos de energía; - comunicando adecuadamente los controles operacionales al personal. 	NO	NO

Tabla 39 Cumplimiento de requisitos definidos en la Norma ISO 50.001 (parte 5).

Cumplimiento de los requisitos expuestos en la norma ISO 50.001				
Requisito		Aspectos Requeridos	Campus Sur	Campus Beauchef
4.5.6	Diseño	Considerar las oportunidades de mejora del desempeño energético y el control operacional en el diseño de instalaciones, equipos, sistemas y procesos que puedan tener un impacto en el desempeño energético.	NO	NO
		Incorporar resultados de la evaluación del desempeño energético en la especificación, diseño y adquisición de los proyectos pertinentes.	NO	NO
4.5.7	Adquisición de servicios de energía, productos, equipos y energía	Informar a los proveedores que la adquisición se evalúa parcialmente sobre la base del desempeño energético, en los casos en que el servicio, producto, equipo o energía tenga un impacto en el uso significativo de energía.	NO	NO
		Establecer e implementar criterios para evaluar el uso, consumo y eficiencia energética durante la vida útil de operación cuando se adquieren servicios, productos, equipos, que tengan un impacto significativo en el desempeño energético.	NO	NO
		Definir y documentar las especificaciones de compra de energía, según sea aplicable para el uso eficaz de la energía.	NO	NO
4.6	Verificación			
4.6.1	Seguimiento, medición y análisis	Asegurar que las características claves de sus operaciones se monitorean, miden y analizan a intervalos planificados. Estas características deben incluir: <ul style="list-style-type: none"> - usos significativos de energía y otras salidas de la revisión energética; - variables pertinentes relacionadas al uso significativo de energía; - IDE; - eficacia de los planes de acción en el logro de objetivos y metas; y - evaluación del consumo de energía real versus el esperado. 	NO	NO
		Definir e implementar un plan de medición de energía, apropiado al tamaño y complejidad de la organización y su equipo de seguimiento y organización.	NO	NO
		Definir y revisar periódicamente las necesidades de medición. Mantener registros de calibración de los equipos de medición.	NO	NO
		Investigar y responder a desviaciones significativas en el desempeño energético.	NO	NO
4.6.2	Evaluación del cumplimiento con los requisitos legales y otros requisitos.	Evaluar, a intervalos planificados, el cumplimiento de los requisitos legales y otros requisitos a los que la organización suscribe que son pertinentes para el uso y consumo de energía.	NO	NO
		Mantener registro de lo anterior.	NO	NO

Tabla 40 Cumplimiento de requisitos definidos en la Norma ISO 50.001 (parte 6).

Cumplimiento de los requisitos expuestos en la norma ISO 50.001				
Requisito		Aspectos Requeridos	Campus Sur	Campus Beauchef
4.6.3	Auditoría interna del SGE	Ejecutar, a intervalos planificados, auditorías internas para asegurar que el SGE: <ul style="list-style-type: none"> - está conforme a las disposiciones planificadas para la gestión de la energía, incluyendo los requisitos de esta norma; - está conforme con los objetivos y metas energéticas establecidas; - está efectivamente implementado, mantenido y mejora el desempeño energético. 	NO	NO
		Desarrollar un plan y programa de auditoría que considere el estado e importancia de las áreas a auditar, así como los resultados de las auditorías previas.	NO	NO
		Mantener e informar a la alta dirección los registros de los resultados de la auditoría.	NO	NO
4.6.4	No conformidades, corrección, acción correctiva y preventiva.	Tratar no conformidades reales y potenciales tomando acciones correctivas y preventivas que incluyan: <ul style="list-style-type: none"> - revisión de no conformidades o potenciales no conformidades; - determinar causas de no conformidades o potenciales no conformidades; - evaluar necesidad de actuar para prevenir la ocurrencia de las no conformidades; - determinar e implementar la acción necesaria; - mantener registros de acciones preventivas y correctivas; - revisar eficacia de la acción tomada. 	NO	NO
		Asegurar que cualquier cambio necesario sea incorporado al SGE.	NO	NO
4.6.5	Control de registros	Establecer y mantener los registros que sean necesarios para demostrar la conformidad con los requisitos del SGE y de la norma y los resultados del desempeño energético.	NO	NO
		Definir e implementar controles para la identificación, recuperación y conservación de los registros.	NO	NO
4.7	Revisión por la dirección			
4.7.1	Generalidades	La alta dirección debe revisar, a intervalos planificados, el SGE y mantener registros de esta revisión.	NO	NO

Tabla 41 Cumplimiento de requisitos definidos en la Norma ISO 50.001 (parte 7).

Cumplimiento de los requisitos expuestos en la norma ISO 50.001				
Requisito		Aspectos Requeridos	Campus Sur	Campus Beauchef
4.7.2	Información de entrada	<p>La información de entrada para la revisión debe incluir:</p> <ul style="list-style-type: none"> - acciones de seguimiento de revisiones previas llevadas a cabo por la dirección; - revisión de la política energética; - revisión del desempeño energético y los IDE relacionados; - resultados de la evaluación del cumplimiento de los requisitos legales y los cambios en los requisitos legales y otros a los cuales la organización suscriba; - grado de cumplimiento de objetivos y metas energéticos; - resultados de la auditoría del SGE; - estado de acciones correctivas y preventivas; - desempeño energético proyectado para el año siguiente; y - recomendaciones para la mejora. 	NO	NO
4.7.3	Resultados de la revisión por la dirección	<p>Los resultados de la revisión por la dirección deben incluir todas las decisiones o acciones relacionadas con:</p> <ul style="list-style-type: none"> - cambios en el desempeño energético de la organización; - cambios en la política energética; - cambios en los IDE; - cambios en los objetivos, metas u otros elementos del SGE, consistentes con el compromiso de la organización para la mejora continua; - cambios en la asignación de los recursos. 	NO	NO

Tabla 42 Cumplimiento de requisitos definidos en la Norma ISO 50.001 (parte 8).

A3. Suministro de electricidad

A continuación se presenta el detalle de facturación para cada empalme.

Campus Sur

Empalme Antumapu

El empalme Antumapu posee una tarifa tipo AT3 con consumo parcialmente presente en punta (PPP). El Gráfico 35 presenta el costo anual del suministro eléctrico, diferenciado por cargos, para el empalme. Se observa que el cargo por potencia representa el 27% del promedio facturado en los últimos 4 años.

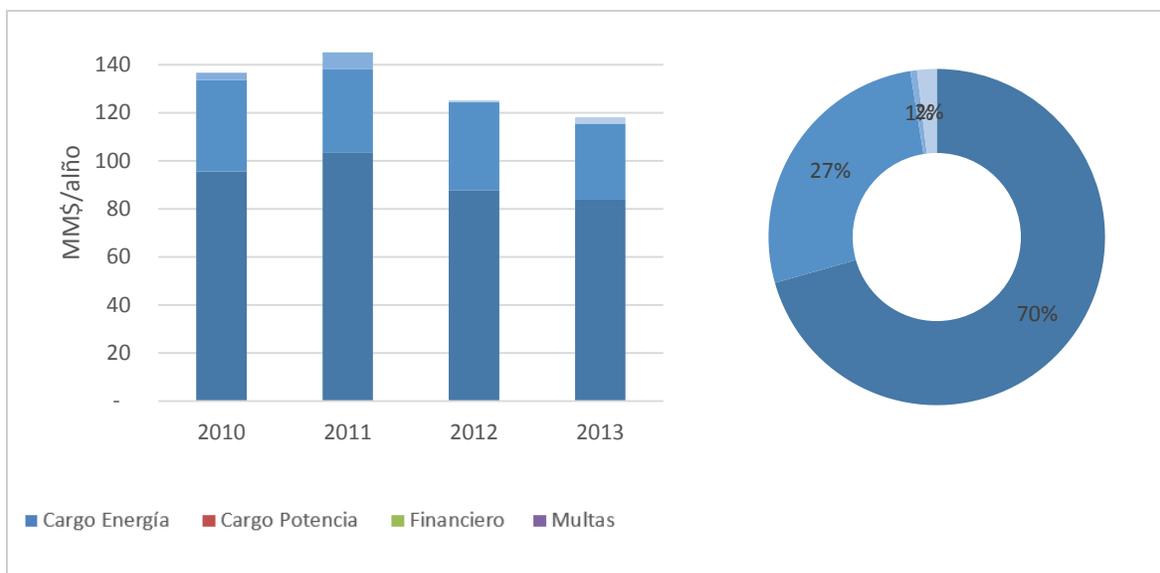


Gráfico 35 Costo del suministro empalme Antumapu. Izquierda: costo de facturación anual. Derecha: distribución promedio del costo de facturación.

El gráfico anterior presenta una facturación promedio por concepto de multas en torno al 2%, lo que supera los 2 MM\$ al año. Los cargos por multa se deben principalmente a recargo por bajo factor de potencia, lo cual se puede controlar a través de la instalación de condensadores.

Empalme Veterinaria

El empalme Veterinaria tiene contratada una tarifa AT4.3, la que se diferencia respecto de la tarifa anterior, AT3, en la aplicación de un cargo horario por potencia. Esto es, se carga

un valor distinto dependiendo si la potencia se registra en horario de punta¹⁸ (HP) o en horario fuera de punta¹⁹ (FHP).

El gráfico inferior presenta la distribución por cargos del costo de facturación anual del empalme Veterinaria. Se puede observar que el cargo por potencia en hora punta es hasta cuatro veces el cargo por potencia suministrada fuera de hora punta.

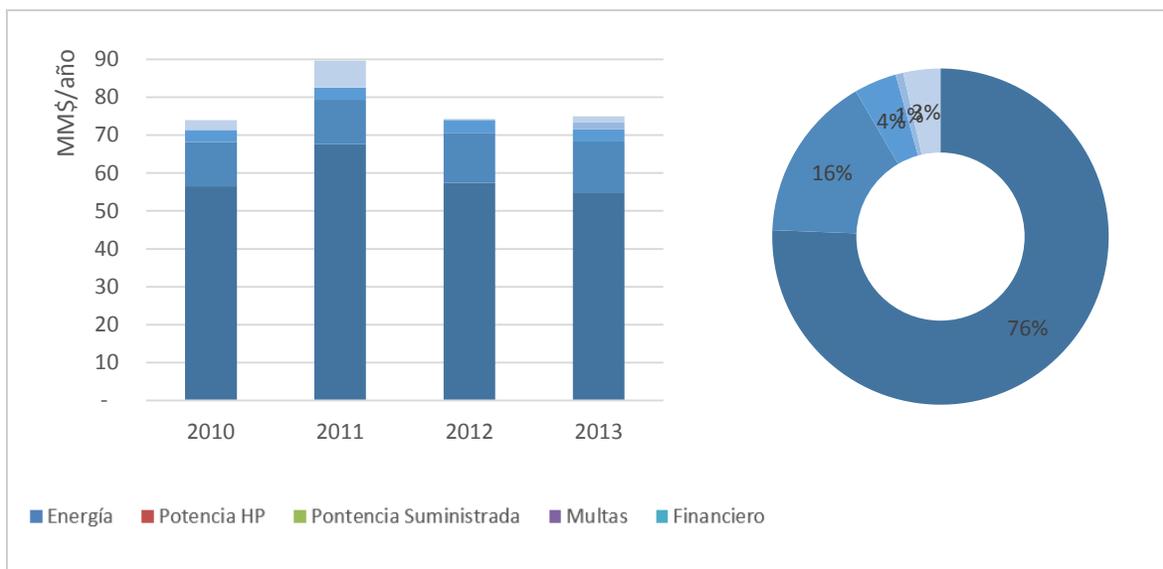


Gráfico 36 Costo del suministro empalme Veterinaria. Izquierda: costo de facturación anual. Derecha: distribución promedio del costo de facturación.

También se advierte que la facturación por concepto de potencia representa un 20% del total facturado, siete puntos porcentuales menos que el empalme Antumapu. Ya que el valor de la energía se mantiene relativamente constante para todas las tarifas, se entiende que entre mayor es el porcentaje pagado por energía, mejor se administra el consumo y menor resulta el monto facturado.

Por último, el gráfico anterior presenta una facturación promedio por concepto cobros financieros en torno al 3%. Los cargos financieros se deben principalmente a intereses por retraso en el pago de cuentas. Una administración eficiente del pago de facturas puede disminuir el 3% de cargo financiero.

¹⁸ El horario de punta corresponde al período comprendido entre las 18:00 y las 23:00 hrs de los meses de Abril a Septiembre en el Sistema Interconectado Central.

¹⁹ El horario fuera de punta se entiende como el período que no corresponde a horas de punta.

Campus Beauchef

A continuación se presentan los datos históricos del suministro de energía y el costo de suministro asociados a cada empalme. Debido a que no se disponía información de los montos facturados por cada cargo, se estimó la facturación a partir de los valores actuales de los cargos tarifarios.

Empalme Blanco 2120

Este empalme corresponde al cliente N° 177946-K y cuenta con una tarifa AT3 1S-C1 con consumo presente en punta. En el Gráfico 37 se presenta el registro histórico de facturaciones de este empalme.

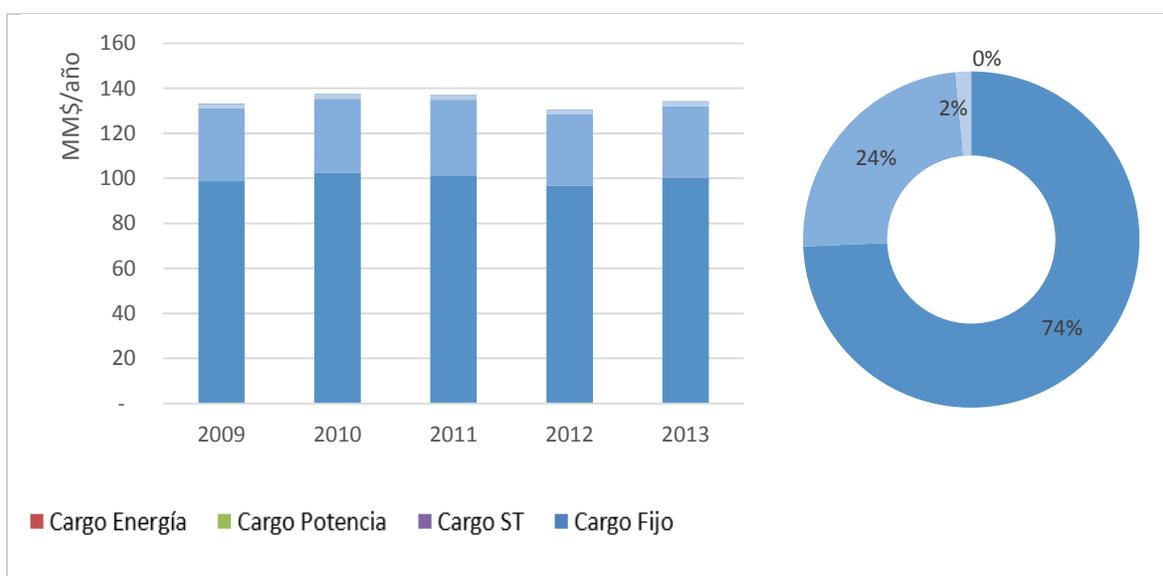


Gráfico 37 Costo suministro eléctrico cliente 177946-K. Izquierda: costo histórico de suministro según cargo. Derecha: costo de suministro promedio por cargo.

Se puede observar del gráfico que aproximadamente el 75% de su facturación corresponde a cobro por energía suministrada, mientras que el 25% restante corresponde casi exclusivamente a pago por consumo de potencia.

Empalme Beauchef 850

Los costos de suministro correspondientes a este empalme son presentados en el Gráfico 38. Se observa un menor cargo por facturación que en el caso anterior. También se advierte que más del 70% de la facturación por demanda se debe al cargo por demanda en hora punta.

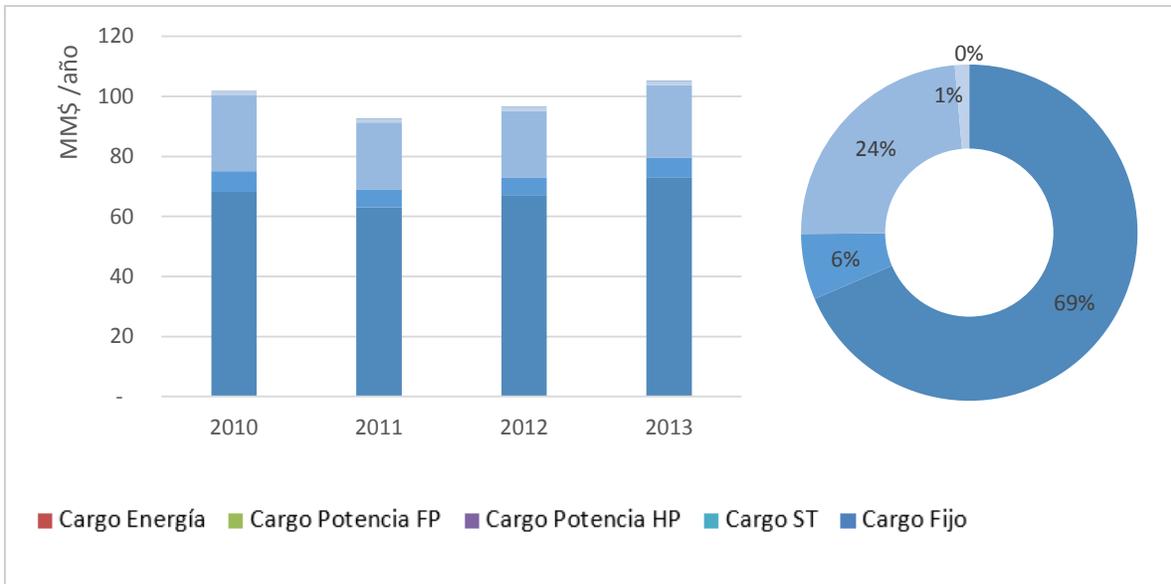


Gráfico 38 Costo suministro eléctrico cliente 177949-4. Izquierda: costo histórico de suministro según cargo. Derecha: costo de suministro promedio por cargo.

Empalme Tupper 2007

Se puede observar en el Gráfico 39 que este empalme posee, proporcionalmente, una mayor facturación por demanda que el empalme Blanco 2120, con la misma tarifa.

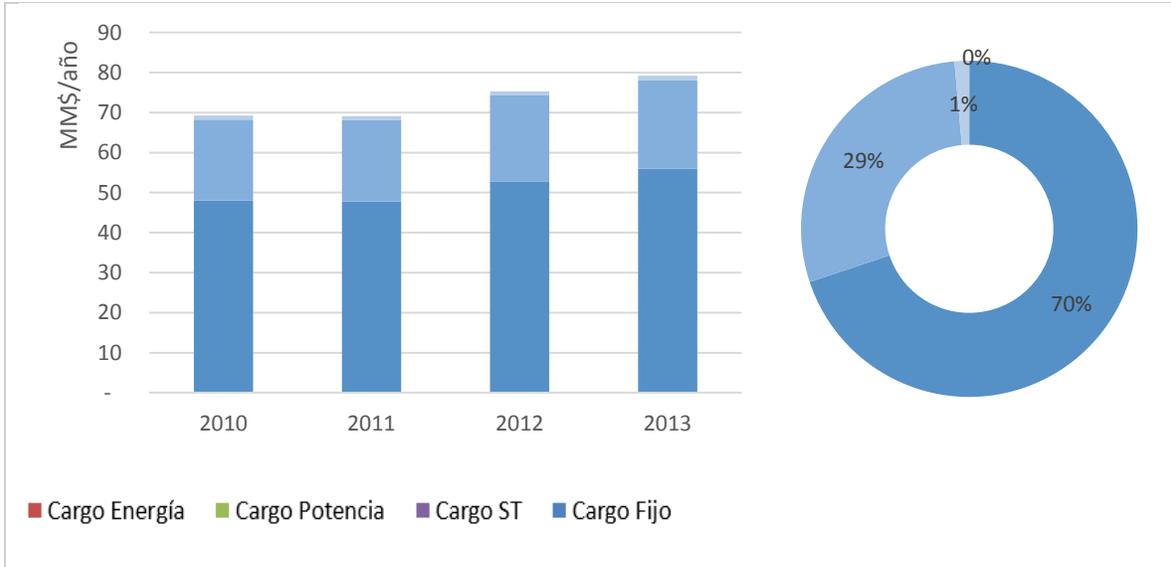


Gráfico 39 Costo suministro eléctrico cliente 177950-8. Izquierda: costo histórico de suministro según cargo. Derecha: costo de suministro promedio por cargo.

Empalme Blanco 2002

De acuerdo con el Gráfico 40, se observa un monto menor facturado por demanda HP que en el caso de Beauchef 850. Ya que el valor del cargo por demanda HP es el mayor en la

tarifa AT4.3, un menor porcentaje de costo por demanda HP indica una mejor utilización de la energía en términos de facturación.

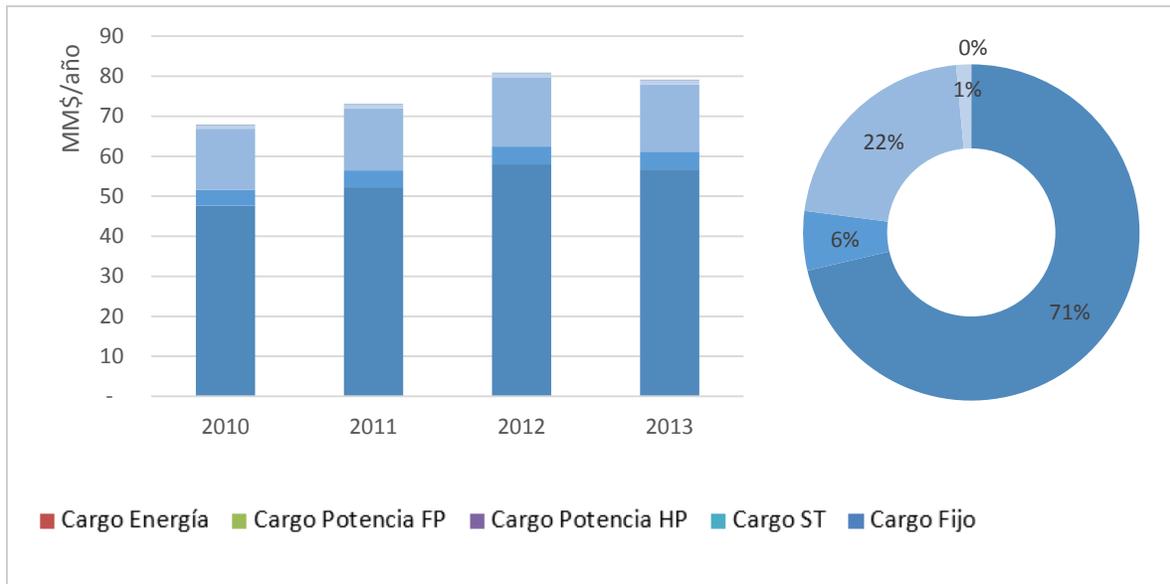


Gráfico 40 Costo suministro eléctrico cliente 2556131-7. Izquierda: costo histórico de suministro según cargo. Derecha: costo de suministro promedio por cargo.

A4. Identificación de oportunidades de mejora, Campus Sur

A continuación se presenta el análisis detallado de las oportunidades de mejora identificadas anteriormente.

Oportunidades detectadas en el suministro

El análisis siguiente se estructura distinguiendo por cada facultad.

Ciencias Agronómicas

Se presume una posible reducción de la facturación por electricidad si se cambia la tarifa actual. Para establecer el potencial de esta medida se simuló la facturación del empalme Antumapu comparando la tarifa actual, AT3 PPP, con una tarifa más flexible que puede representar mejores resultados, la tarifa AT4.3. El Gráfico 41 presenta los resultados de la simulación tarifaria.

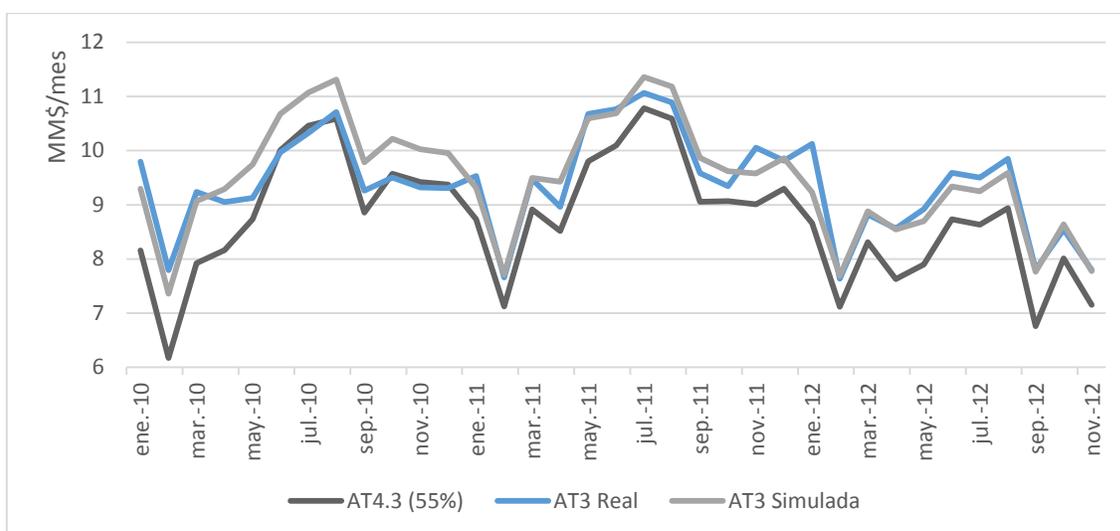


Gráfico 41 Simulación Tarifa Eléctrica para Antumapu.

Para simular las tarifas se utilizó el registro de la energía y potencia facturada y se recrearon los cargos tarifarios de las tarifas AT3 PPP y AT4.3 a partir de los indexadores tarifarios publicados por la Comisión Nacional de Energía (CNE). Los resultados de la simulación indican que si la demanda máxima en hora punta²⁰ (HP) es inferior al 75% de la demanda

²⁰ El horario de punta corresponde al período comprendido entre las 18:00 y las 23:00 hrs de los meses de Abril a Septiembre en el Sistema Interconectado Central.

máxima leída fuera de hora punta²¹ (FP), resulta conveniente cambiar la tarifa de AT3 a AT4.3. Suponiendo un régimen de consumo eléctrico al de Veterinaria, es decir, una demanda HP igual al 55% de la demanda FHP, la simulación arroja un ahorro cercano a MM\$ 7,5 al año por concepto de facturación.

Por otro lado, se observó que el costo promedio de suministro de GAS es hasta 20 \$/kWh superior con respecto al costo pagado por Veterinaria. Esta diferencia significó un excedente de hasta 3,9 MM\$ pagados durante el 2012.

Ciencias Veterinarias y Pecuarias

La tarifa eléctrica actual, AT4.3, permite el ahorro en la facturación por concepto de potencia en hora punta. El inicio de la hora punta coincide con la hora de salida de gran parte del personal en el campus, por lo cual existe un potencial de reducción de la demanda.

Lo anterior sugiere que existe una oportunidad de ahorro económico por la reducción de la demanda de hora punta. El Gráfico 42 muestra la variación de la demanda registrada en punta durante el año 2012 y 2013, y los valores de potencia instalada y demanda instantánea de los equipos que funcionan más de 10 horas diarias.

Se desprende del Gráfico 42 un potencial de reducción de la demanda punta que va entre 40 y 130 kW al mes. Esto equivale a la reducción de la facturación eléctrica entre 2,8 y 9,5 MM\$ al año.

Por otro lado, se observa que el costo promedio de gas cilindro está entre 14 y 18 \$/kWh por debajo del costo promedio del gas a granel. Preferir el suministro de gas cilindro puede representar un ahorro significativo.

²¹ El horario fuera de punta se entiende como el período que no corresponde a horas de punta.

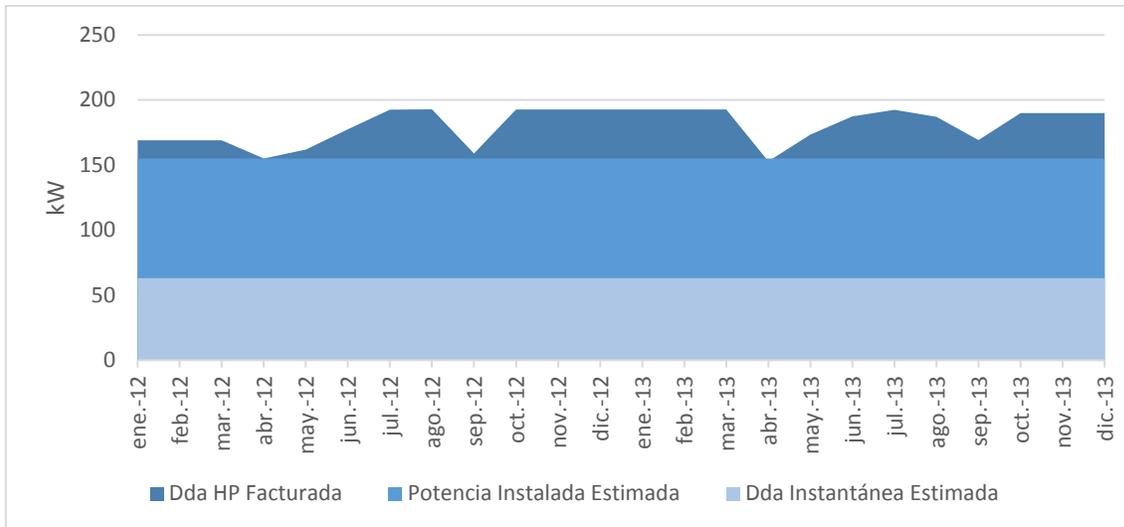


Gráfico 42 Demanda Punta facturada vs. Potencia Instalada y Demanda Instantánea de equipos que operan 24 hrs.

Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza

Se advierte un costo de suministro de GAS a granel mayor que en el resto de las facultades. Cambiar el proveedor de GAS a granel puede presentar un ahorro de hasta 120 \$/lt.

Oportunidades detectadas en el Uso

Las oportunidades detectadas en el uso se presentan por facultad.

Ciencias Agronómicas

De acuerdo con el análisis de uso energético, los sistemas más significativos en esta facultad corresponden a climatización, refrigeración, calefacción y equipos de laboratorio. A continuación se presentan las oportunidades de mejora detectadas en el uso de estos equipos.

Climatización

Climatización representa el consumo energético más importante en la facultad. De acuerdo con los datos presentados en el Gráfico 43, el 90% del consumo de climatización se debe al uso de equipos de aire acondicionado.

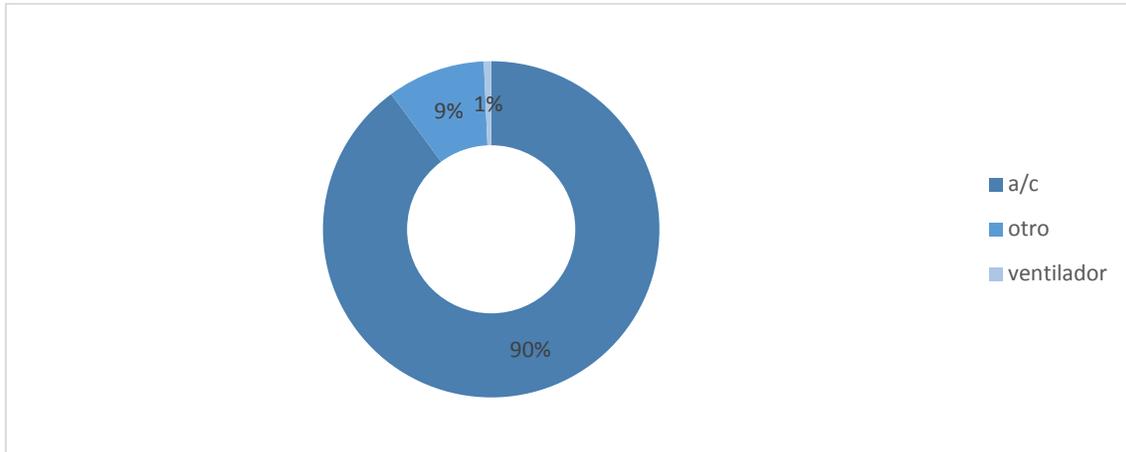


Gráfico 43 Distribución del consumo de artefactos de climatización, Agronomía.

El Gráfico 44 presenta el consumo energético y la cantidad de los equipos de aire acondicionado por edificio. Se observa una relación directa entre el número de equipos y el consumo energético por climatización.

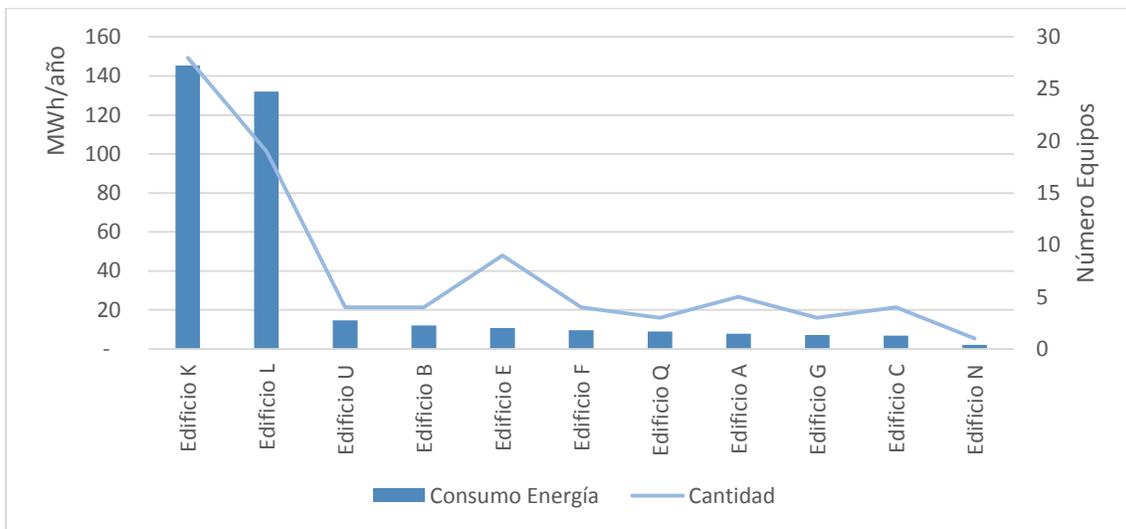


Gráfico 44 Consumo energético y cantidad de equipos de aire acondicionado por edificio, Agronomía.

La gran cantidad de equipos de aire acondicionado en el edificio K se asocia a los numerosos laboratorios existentes. En este tipo de recintos, son mayores las exigencias de ventilación y temperatura debido a los procedimientos ejecutados y los equipos utilizados. Al respecto, la experiencia internacional muestra ahorros de hasta 30% por la gestión y control inteligente del funcionamiento de estos equipos [32]. Por otro lado, dada la concentración de equipos de tamaño pequeño-mediano en un mismo edificio, puede resultar beneficiosa la instalación de un sistema VRV (Volumen de Refrigeración Variable) que ofrece una disminución del consumo energético por sobre el 20% .

Refrigeración

De acuerdo a los datos presentados en el Gráfico 45 se advierte que la mayor parte del consumo energético de refrigeración se encuentra en el edificio U.

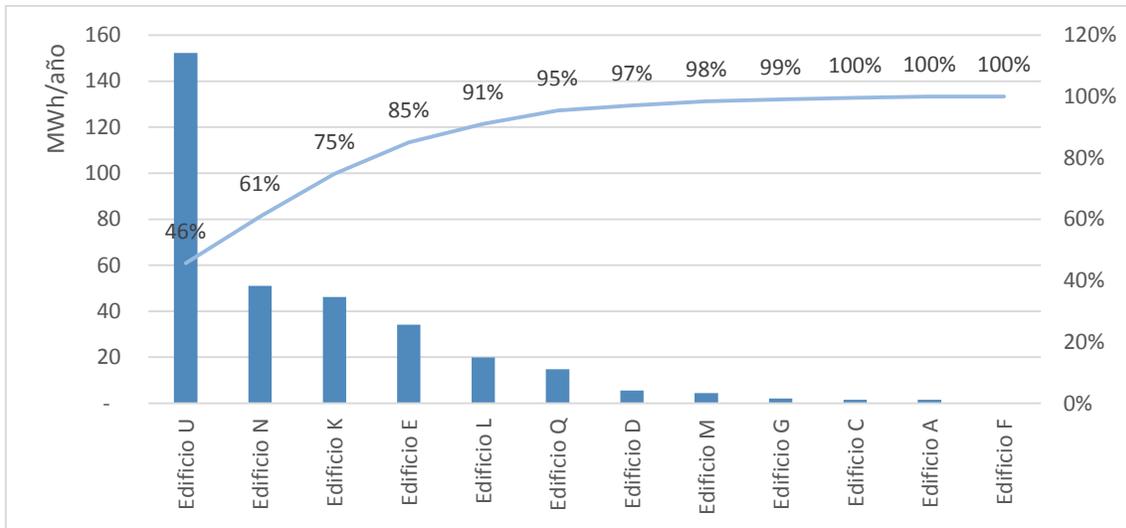


Gráfico 45 Consumo energético de los equipos de refrigeración por edificio, Agronomía.

El Gráfico 46 presenta la distribución del consumo de refrigeración en el edificio U. Se observa que casi la totalidad del consumo se debe al funcionamiento de las cámaras de frío que se ubican en ese lugar.

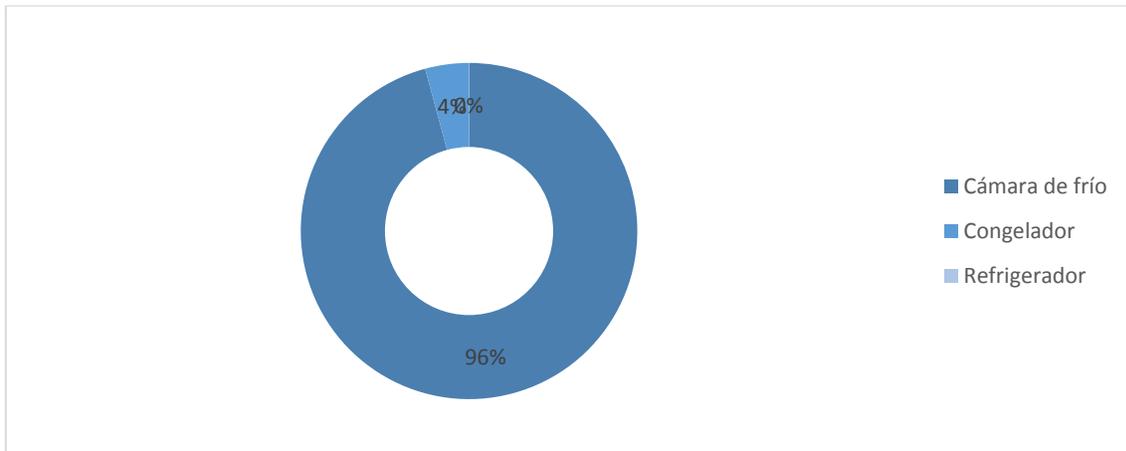


Gráfico 46 Distribución del consumo por equipos de refrigeración en Edificio U.

Dada la información disponible, no se puede identificar ninguna oportunidad de mejora. No obstante, se reconoce la importancia de emprender acciones de eficiencia ya que cerca de un 9% del consumo energético de la facultad depende de la operación de las cámaras de frío.

Se recomienda evaluar, en primer lugar, la operación de estas cámaras con el propósito de identificar y corregir ineficiencias. En segundo lugar, se recomienda solicitar una evaluación técnica de las cámaras y los equipos de refrigeración, que permita reducir de infiltraciones de calor y detectar ineficiencias en el funcionamiento de los equipos. En relación a este último punto, se cuentan varias alternativas:

- Instalación de variadores de frecuencia, que ofrece ahorros de hasta un 50% [33].
- Ajuste de la temperatura del evaporador puede reducir el consumo entre 1% al 4% por cada grado ajustado [23].

Calefacción

El Gráfico 47 presenta la distribución del consumo energético de artefactos de tipo calefacción en los edificios de la facultad. Se observa que el mayor consumo energético se presenta en el Edificio A, K y F.

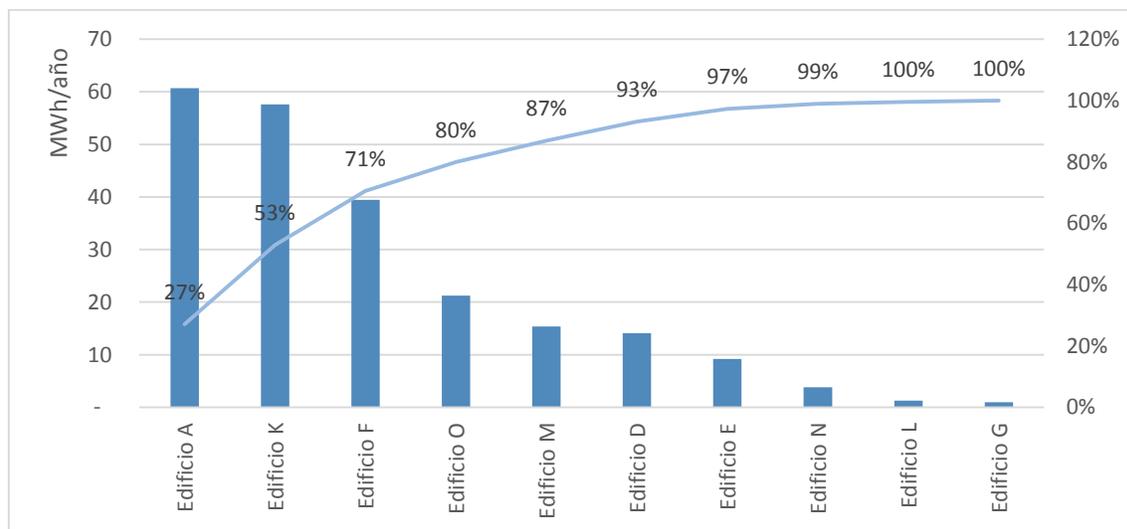


Gráfico 47 Consumo energético de los artefactos de calefacción por edificio, Agronomía.

La distribución del consumo energético por artefacto de calefacción presentada en el Gráfico 48 revela que los edificios A, K y F poseen el mayor número de artefactos de calefacción. Se observa un consumo energético importante de calefactores y estufas eléctricas, especialmente en el edificio K. Este último edificio posee la mayor cantidad de equipos de aire acondicionado, por lo que se infieren problemas asociados a la aislación térmica de la envolvente y/o problemas de operación o capacidad de los equipos de climatización.

Se recomienda realizar una evaluación del confort térmico del edificio, estudiando medidas por mejora de la aislación térmica y el reemplazo de equipos de confort. Reducir infiltraciones de ventanas y puertas puede generar ahorros por calefacción de hasta un 40% [24].

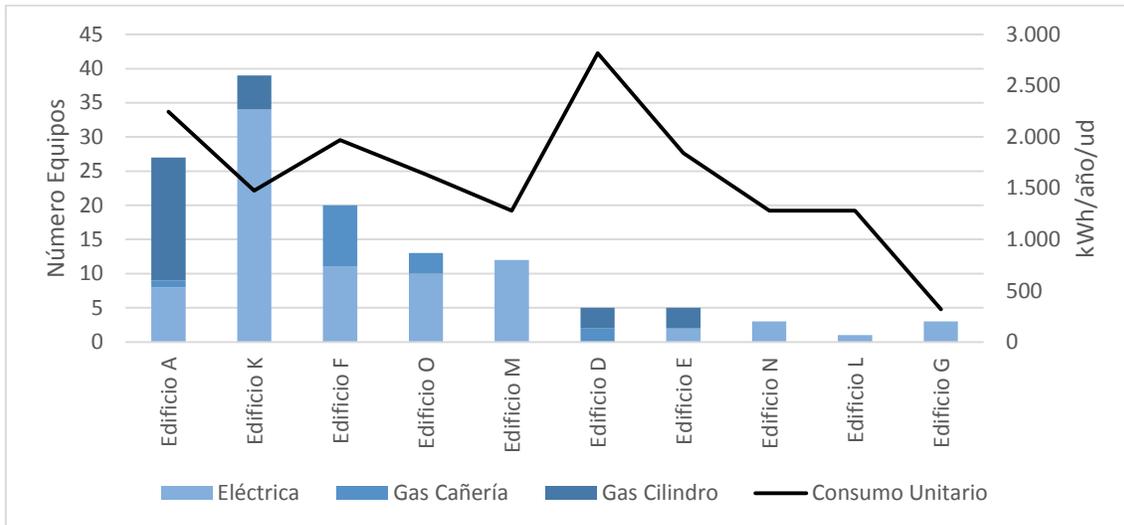


Gráfico 48 Cantidad de equipos y consumo energético unitario de calefacción por edificio, Agronomía.

Laboratorio

El Gráfico 49 muestra que los hornos y estufas de secado, junto con los equipos de cromatografía, representan casi el 70% del consumo de equipos de laboratorio.

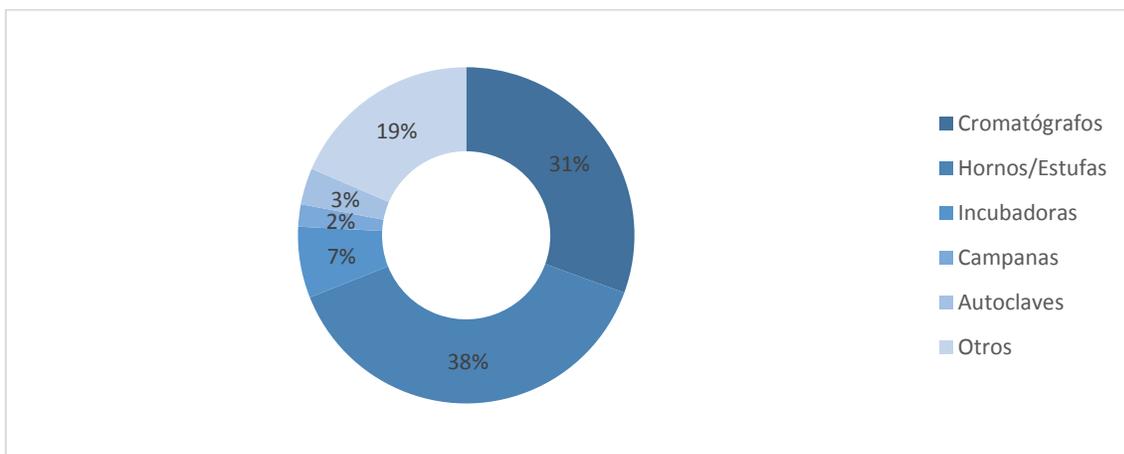


Gráfico 49 Distribución del consumo energético de Artefactos de Laboratorio, Veterinaria.

Diversas instituciones extranjeras han emprendido acciones de eficiencia energética para reducir el consumo de los laboratorios [43]. Los esfuerzos se han enfocado en medidas de

control inteligente de equipos de ventilación y gestión del uso de equipos de laboratorio, como hornos y campanas.

Ejemplo de lo anterior es el concurso *Shut the Sash* impulsado por la Universidad de British Columbia, el cual busca fomentar el uso eficiente de cabinas de seguridad (campanas de extracción de aire, cabinas de seguridad biológica y de flujo laminar) a través de la reducción de la apertura de la ventana en la operación de estos equipos. Con 3 versiones ya realizadas, esta iniciativa ha logrado reducir hasta 134 MWh de energía en los últimos 2 años [26].

Se recomienda aplicar medidas de gestión para el uso eficiente de los equipos y evaluar la instalación de temporizadores para equipos que se utilizan por tiempos prolongados, como hornos y estufas de secado.

Ciencias Veterinarias y Pecuarias

El análisis de uso energético identificó los consumos laboratorio, climatización, calefacción e iluminación como los más significativos en esta. A continuación se presentan las oportunidades de mejora detectadas en el uso de estos equipos.

Laboratorio

De acuerdo a los datos presentados, los equipos de laboratorio representan el mayor consumo energético en la facultad. En el Gráfico 50 se presentan los recintos con mayor consumo por este tipo de equipos. Se observa que Farmacología es el recinto con mayor consumo.

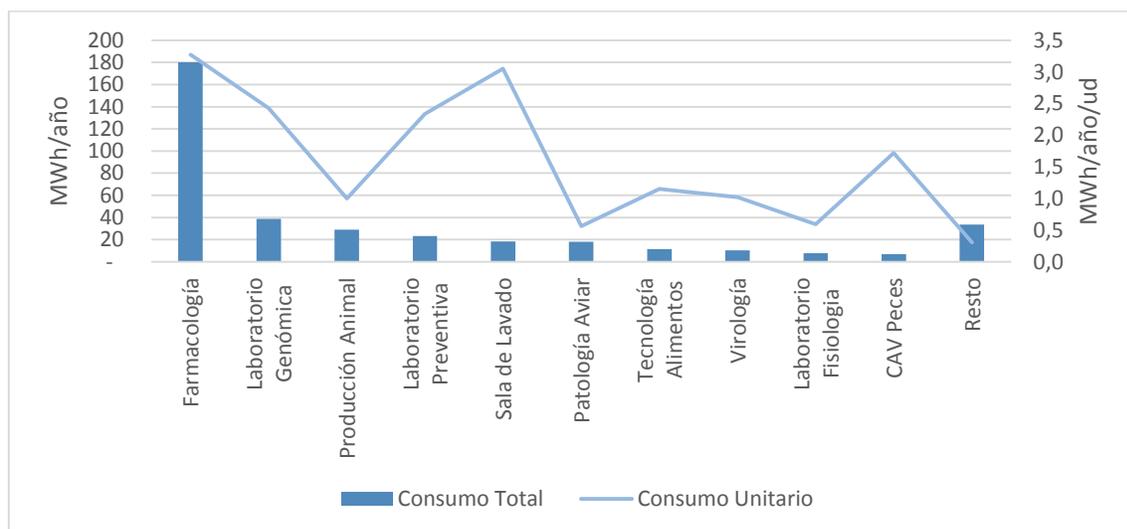


Gráfico 50 Consumo energético total y unitario de los artefactos de laboratorio por recinto, Veterinaria.

El Gráfico 51 presenta los consumo energéticos de los equipos de laboratorio más importantes en Farmacología. Se observa que los equipos de cromatografía (líquida y de gases) representan la mayor parte del consumo energético. Respecto al uso de estos equipos se advierten pocas posibilidades de ahorro, debido al desconocimiento del uso de estos equipos.

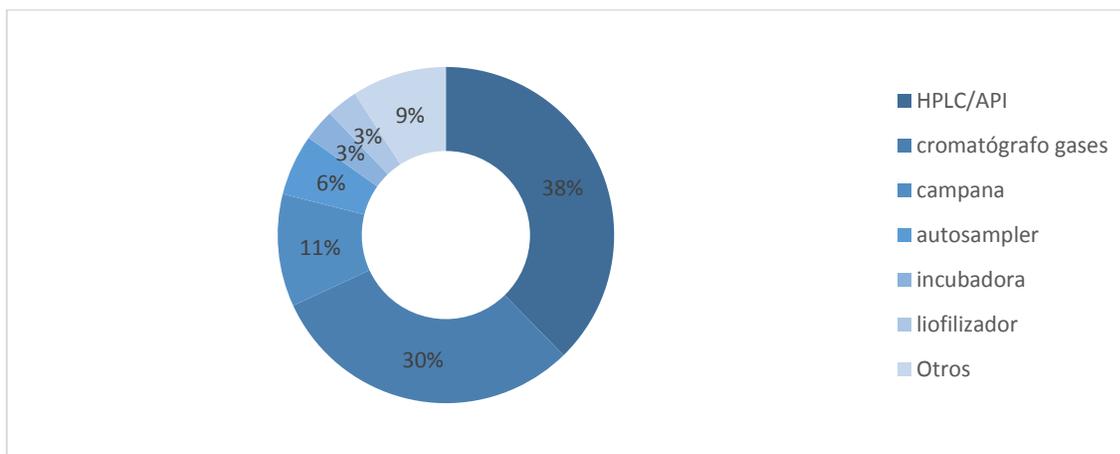


Gráfico 51 Consumo de equipos de laboratorio en Farmacología.

Sin embargo, se advierte que un 11% del consumo energético se atribuye al uso de campanas (o cabinas de seguridad). Iniciativas de universidades extranjeras han logrado importantes ahorros por fomentar el uso eficientes de las cabinas de seguridad. En la Universidad de British Columbia, Canadá, se logró reducir el consumo energético hasta en 29,5 MWh durante el período 2013-2014 [26].

Se advierte una oportunidad de mejora en el uso eficiente de las cabinas de seguridad de Farmacología.

Climatización

Los climatización representan el segundo consumo más importante en la facultad. Este consumo se atribuye, casi en su totalidad, al uso de equipos de aire acondicionado, tal y como se observa en el Gráfico 52.

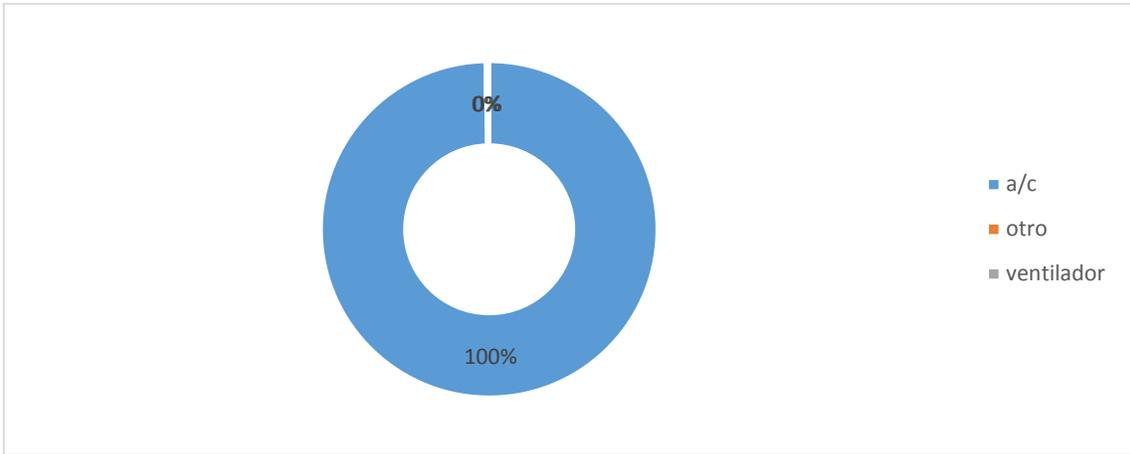


Gráfico 52 Distribución del consumo energético en Climatización, Veterinaria.

En el gráfico inferior se presentan el consumo energético y la cantidad de equipos de aire acondicionado por recinto en la facultad.

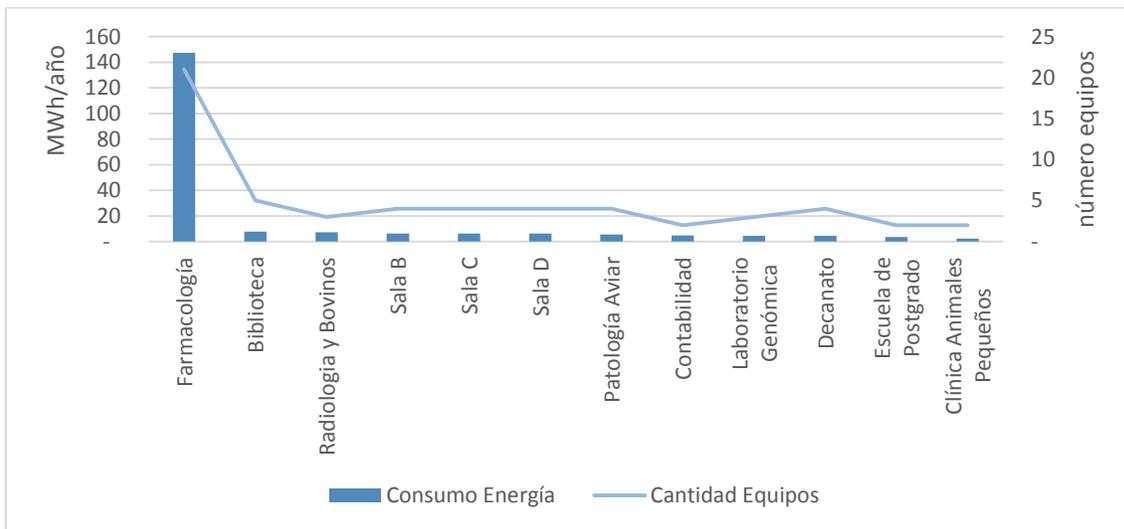


Gráfico 53 Cantidad de equipos de aire acondicionado por recinto, Veterinaria.

Del Gráfico 53 se observa que la mayor parte de los equipos por uso de equipos de aire acondicionado se encuentra en Farmacología. Este recinto posee altas exigencias de ventilación y temperatura, debiendo mantener los equipos de climatización operando durante toda la jornada. La experiencia internacional dice que el funcionamiento inteligente de los equipos puede generar ahorros de hasta un 30% [32].

Por otro lado, detectar y disminuir las pérdidas de calor e infiltraciones puede generar ahorros interesantes. El edificio posee amplias ventanas de vidrio simple (3 a 4 mm) que podrían ser fuente de pérdidas térmicas e infiltraciones. Se recomienda realizar un estudio

que permita evaluar la conveniencia de mejorar la aislación térmica de la envolvente del edificio a fin de reducir las exigencias sobre los equipos de climatización.

Calefacción

El análisis de uso energético reveló que existe un consumo importante por utilización de artefactos de calefacción en Veterinaria. De acuerdo al Gráfico 54 cerca del 70% del consumo energético de calefacción se debe al uso de estufas rodantes a GAS.

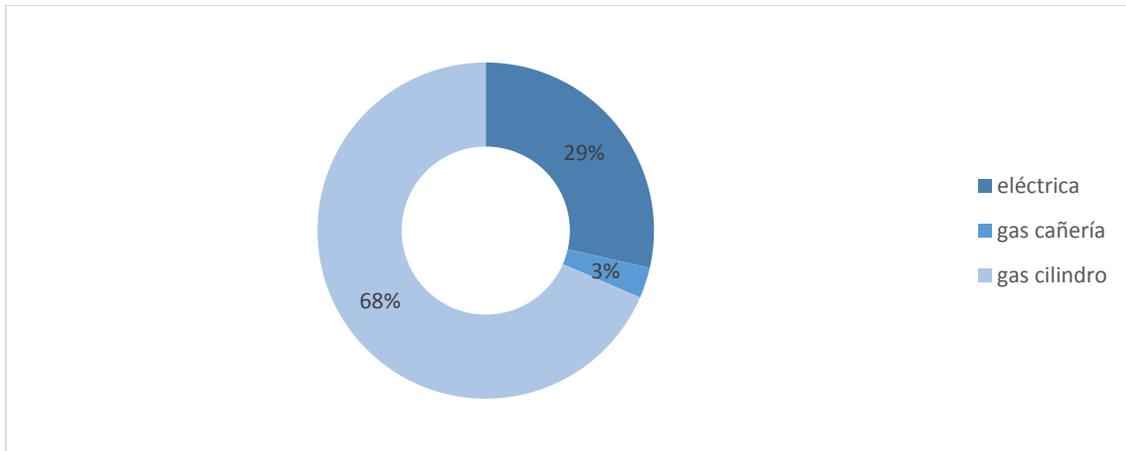


Gráfico 54 Distribución del consumo energético en Calefacción , Veterinaria.

La mayoría de las estufas a gas cilindro en Veterinaria corresponden a equipos radiantes, los que poseen una baja eficiencia energética comparadas con equipos catalíticos o de llama azul. Se recomienda considerar la eficiencia de las alternativas existentes al momento de adquirir un nuevo equipo.

El gráfico inferior presentan el uso de equipos de calefacción en los recintos de mayor consumo dentro de la facultad.

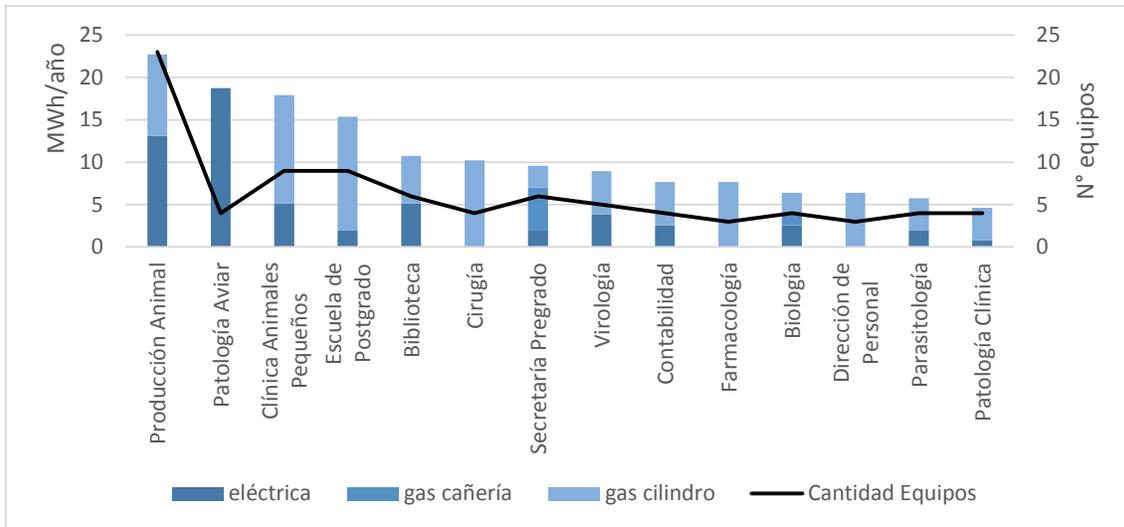


Gráfico 55 Consumo energético y cantidad total de equipos de calefacción, Veterinaria.

Se desprende del gráfico superior que existe una utilización intensiva de equipos de calefacción eléctricos en Patología Aviar. Esto se debe, entre otras razones, a la utilización de estufas eléctricas dentro de cámaras de incubación. Se recomienda evaluar la adquisición de un equipo de incubación eficiente que reemplace la cámara existente. La evaluación de este equipo debe considerar un dimensionamiento en base a las exigencias reales de la cámara, para evitar la adquisición de un equipo sobredimensionado.

Iluminación

En cuanto a iluminación, el Gráfico 56 presenta el consumo energético asociado a cada tipo de luminaria en la facultad. Se observa que un 13% del consumo se debe al uso de luminarias incandescentes. Estas últimas resultan ser un equipo de bajo eficiencia y su reemplazo por luminarias eficientes puede generar ahorros considerables.

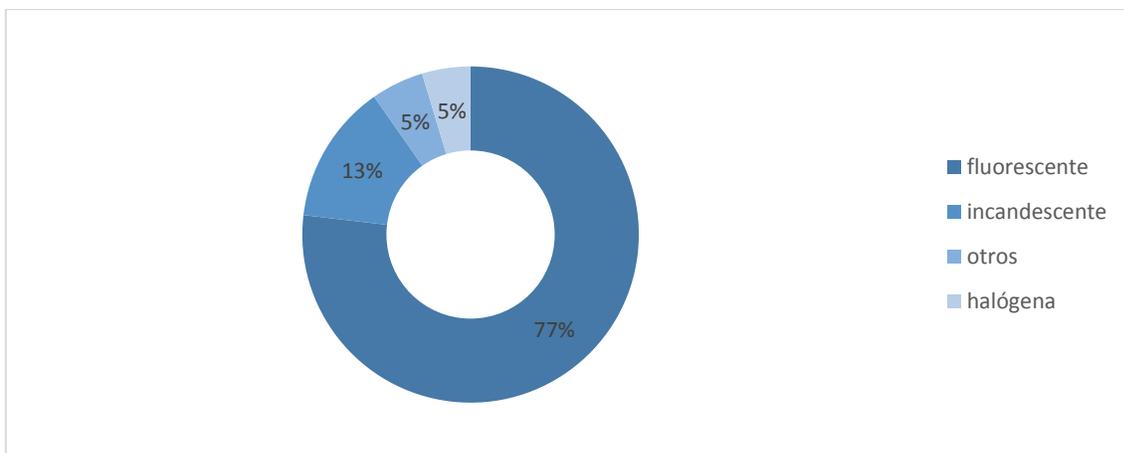


Gráfico 56 Distribución del consumo por tipo de luminaria en Veterinaria.

Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza

A continuación se presentan las oportunidades de mejora detectadas en los sistemas más significativos de la facultad.

Calefacción

La distribución del consumo por tipo de equipo de calefacción se muestra en el Gráfico 57. Se puede observar que el edificio A posee el mayor consumo energético de calefacción. Sin embargo, este recinto posee una menor superficie que el Pabellón Arauco, que consume la mitad de la energía del primero. Se recomienda evaluar las condiciones de aislación térmica y uso de estufas en el edificio A, y censar el confort térmico de Pabellón Arauco.

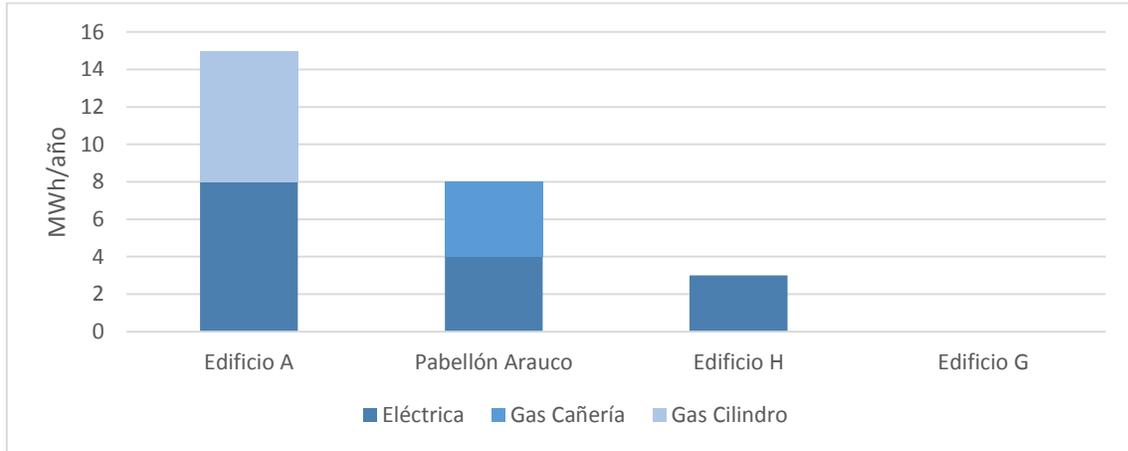


Gráfico 57 Detalle distribución de artefactos de calefacción por recinto, Forestal.

Iluminación

De acuerdo a los datos presentados en el Gráfico 58, el consumo energético de iluminación está compuesto principalmente por luminarias tipo fluorescente.

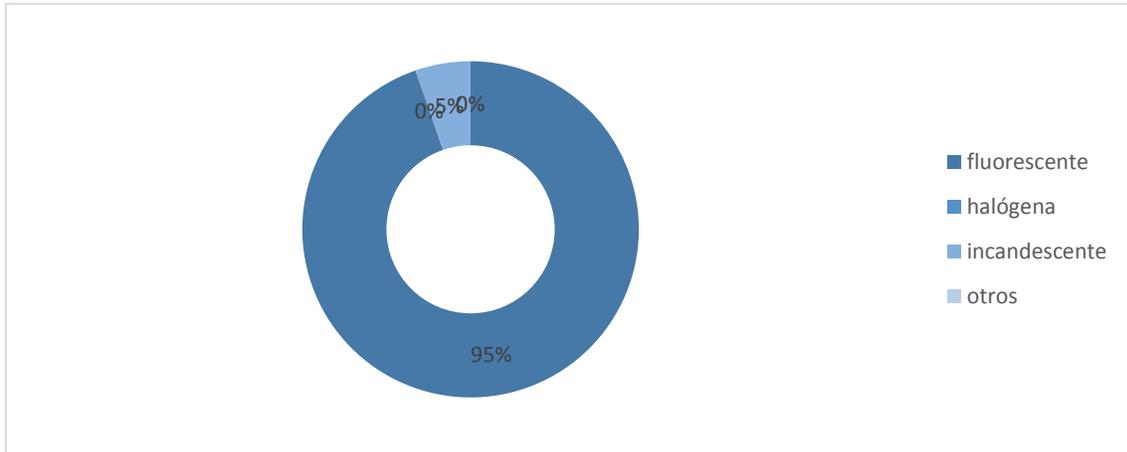


Gráfico 58 Distribución de consumo energético en Iluminación, Forestal.

En el Gráfico 59 se observa que la mayoría de las luminarias fluorescentes se encuentran en el Pabellón Arauco. Por otro lado, se registra un uso más intensivo de los aparatos de iluminación en el edificio A.

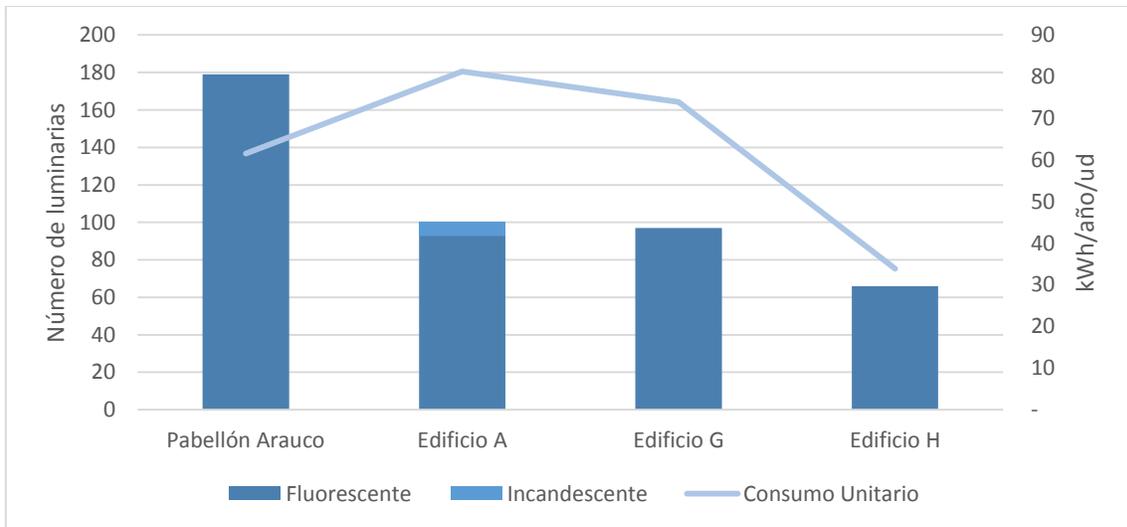


Gráfico 59 Consumo energético total y unitario de luminarias por recinto, Forestal.

Se recomienda reemplazar las luminarias incandescentes en el edificio A, e instalar alternativas más eficientes (tipo CFL, LED u otras de mayor eficiencia).

Computación

El gráfico inferior presenta el desglose del consumo energético de los artefactos de computación. Se puede observar que los computadores de escritorio se llevan la mayor parte de la energía destinada a estos equipos, lo que equivale al 18% del consumo total de la facultad.

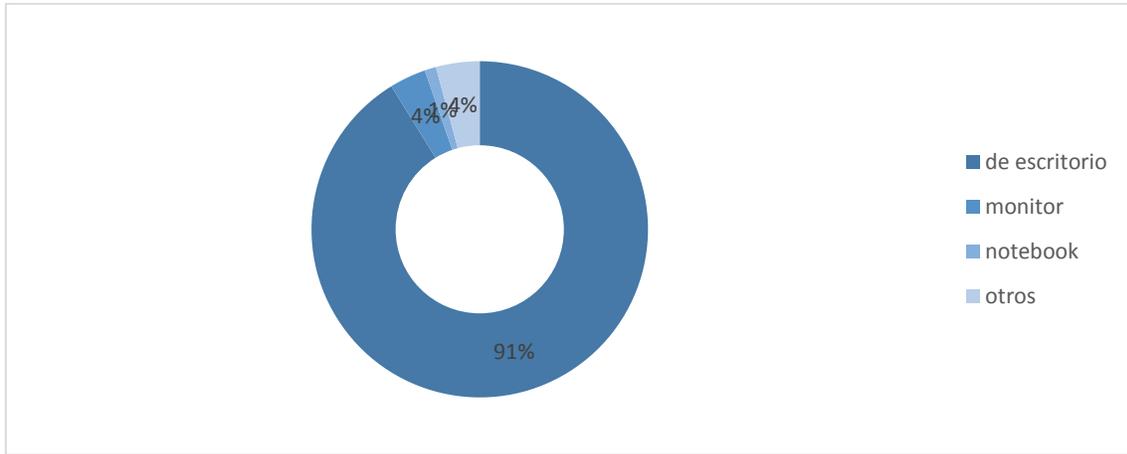


Gráfico 60 Distribución consumo energético en Computación , Forestal.

El Gráfico 61 presenta el consumo energético y la cantidad de computadores de escritorio en los edificios de Forestal. Se observa que el consumo energético está por estos equipos está directamente relacionado con la cantidad de equipos.

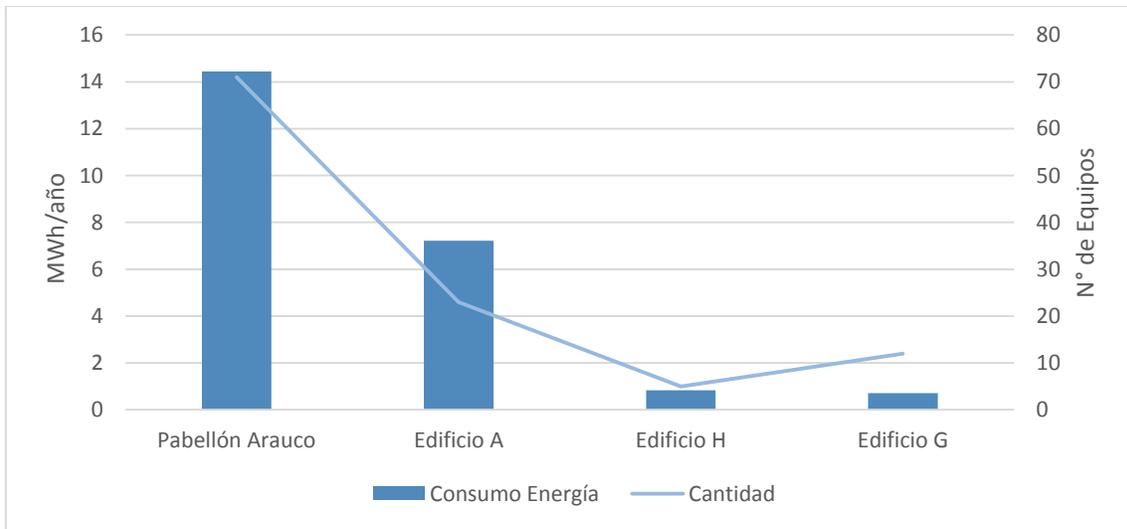


Gráfico 61 Consumo energético y cantidad de computadores de escritorio, Forestal.

Se observa del gráfico que el edificio A presenta un uso más intensivo de estos equipos, lo que se atribuye a las actividades del área administrativa que se ubica en este sector. Un equipo notebook consume cerca de un 30% [31] de la energía que consume un equipo de escritorio. Uno de los problemas más importantes asociados al uso de estos equipos es la seguridad. Sin embargo, en recintos cerrados, como lo son las oficinas, resulta factible trabajar con estos equipos. Se advierte una oportunidad de mejora en el reemplazo de los computadores de escritorio de las oficinas por equipos notebooks.

A5. Identificación de oportunidades de mejora, Campus Beauchef

Oportunidades detectadas en el suministro

Para simular las tarifas AT4, es necesario suponer cómo se comporta la demanda de hora punta en función de la demanda máxima registrada, ya que no se cuenta con el registro de demanda diferenciada de forma horaria.

Por otro lado, para simular la tarifa AT2 y AT3, se debe evaluar tanto el escenario en que el consumo clasifica como presente en punta (PP), como aquél en que el consumo clasifica como parcialmente presente en punta (PPP).

Finalmente, para simular las tarifas con potencia contratada, se supuso un contrato por un 110% de la máxima potencia registrada (en ese bloque horario), lo que corresponde a la menor variación promedio de la demanda (caso más favorable para el uso de esta tarifa).

a. *Empalme Blanco 2120*

Este empalme posee una tarifa eléctrica AT3 PPP. Suponiendo que la demanda fuera de punta es igual a la demanda en punta, los resultados de la simulación se muestran en el gráfico inferior. Este caso corresponde al peor escenario para el cambio a una tarifa AT4.3. No obstante, se observa que aún en este caso resulta conveniente el cambio de tarifa.

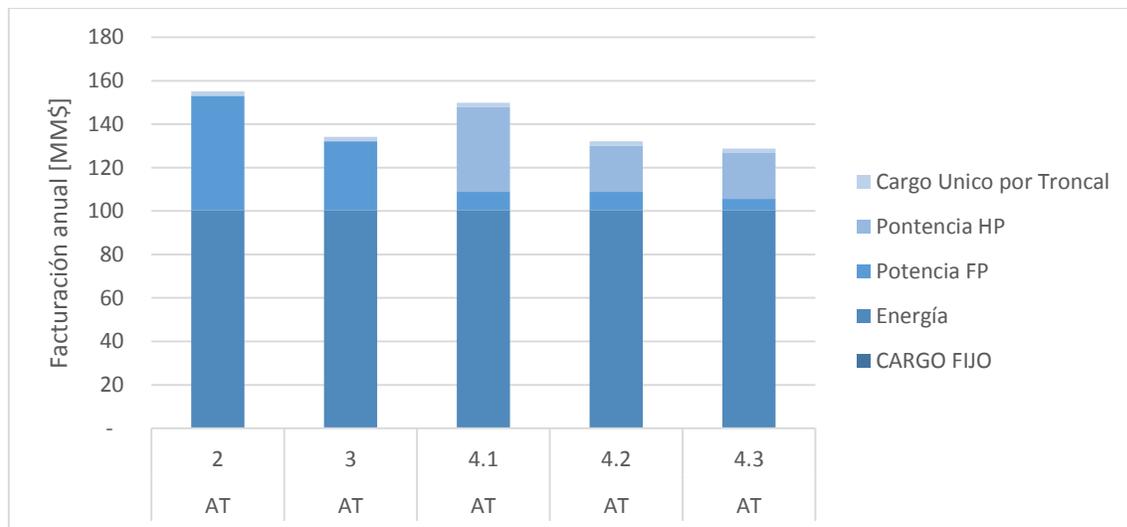


Gráfico 62 Desglose por cargos en simulación de tarifas 2013 para DemFP=DemHP

b. *Empalme Beauchef 850*

Este empalme tiene actualmente contratada una tarifa AT4.3. Suponiendo que el consumo califica como PP, la simulación de las tarifas para el 2013 arrojan los siguientes resultados.

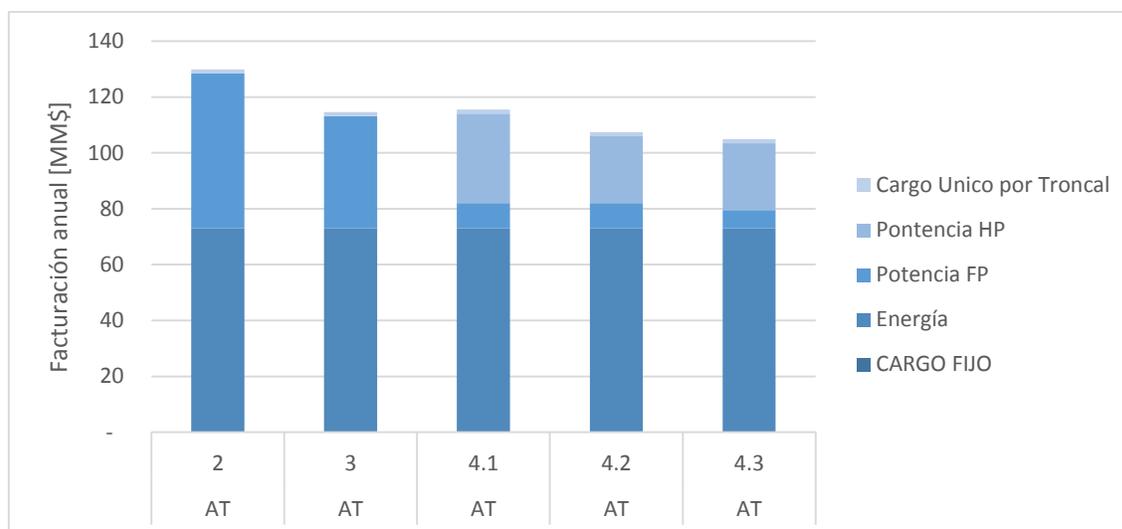


Gráfico 63 Desglose por cargos tarifa 2013 para consumo PP.

En este caso, la tarifa actual resulta ser la más conveniente.

Suponiendo un segundo caso en que el consumo califica como PPP, los resultados de la simulación se muestran en el Gráfico 64.

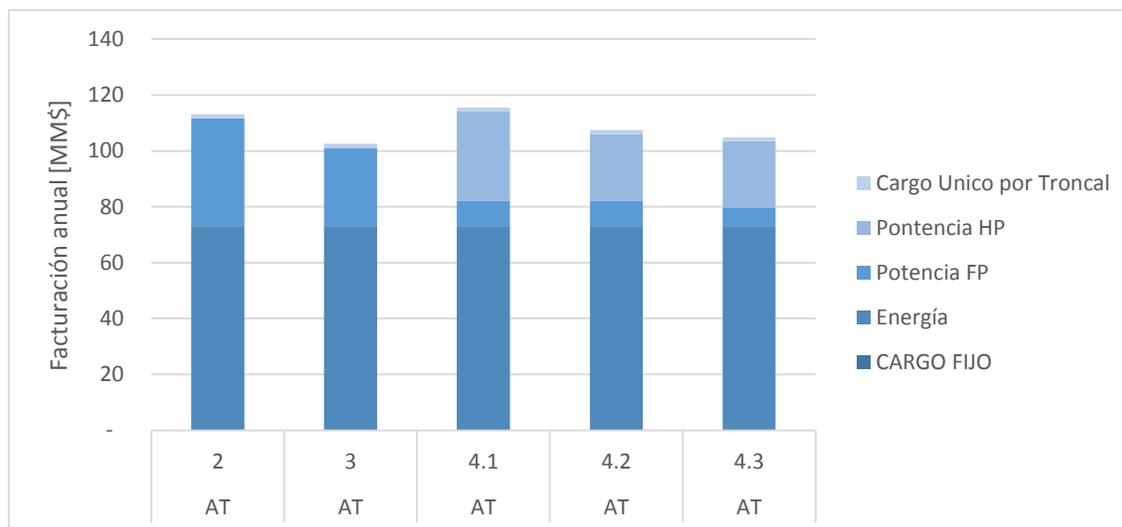


Gráfico 64 Desglose por cargos tarifa 2013 para consumo PPP.

En este caso, la tarifa más conveniente resulta ser la AT3, representando un ahorro cercano a 2,3 MM\$ durante el año 2013 en comparación a la tarifa actual.

Se recomienda medir la demanda en hora punta para establecer la calificación del consumo como presente o parcialmente presente en punta, y determinar la conveniencia de un cambio tarifario.

c. Empalme Tupper 2007

Este empalme presenta una tarifa AT3 con consumo PPP. Suponiendo el caso con una demanda máxima HP igual al 70% de la demanda máxima registrada, se observa que la tarifa más conveniente resulta ser la tarifa actual, de acuerdo con el Gráfico 65.

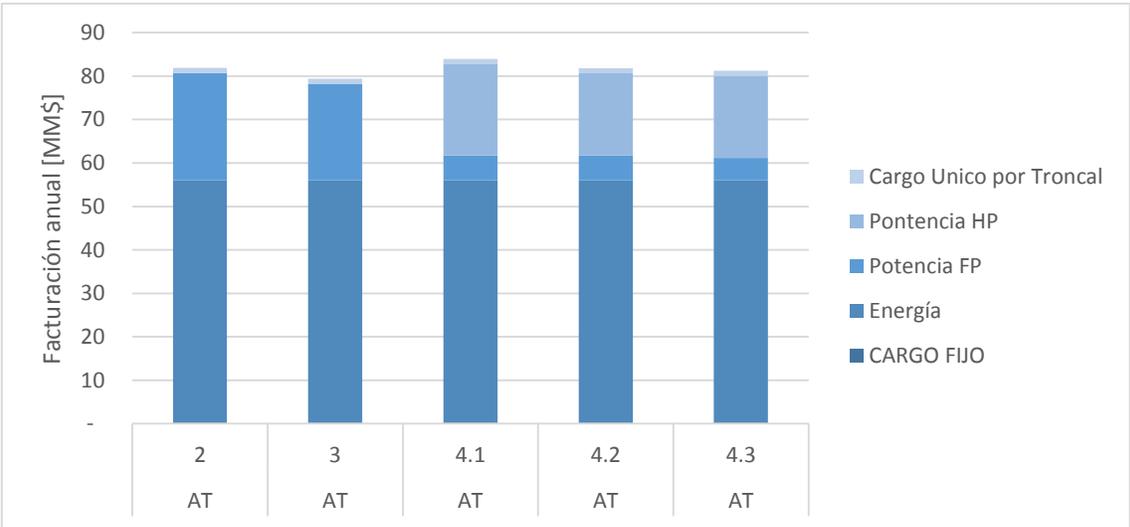


Gráfico 65 Desglose por cargos tarifa 2013 para Dem HP= 0.7 X Dem FP.

Suponiendo ahora una demanda máxima de hora punta de un 60% de la demanda máxima registrada, la tarifa más conveniente resulta ser la AT4.3, tal y como se observa en el Gráfico 66.

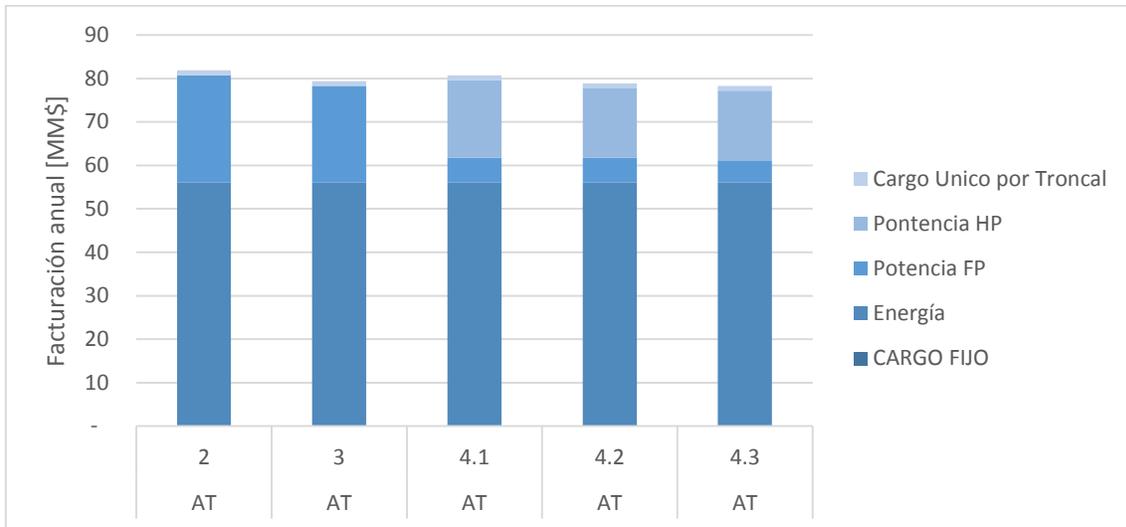


Gráfico 66 Desglose por cargos tarifa 2013 para Dem HP= 0.6 X Dem FP.

Debido a la incertidumbre respecto de la conveniencia de un cambio tarifario, se recomienda realización de una medición de la demanda de hora punta en este empalme.

d. Empalme Blanco 2002.

Este empalme tiene actualmente contratada una tarifa AT4.3. Suponiendo una calificación del consumo como PP, la simulación de las tarifas se muestra en el gráfico inferior.

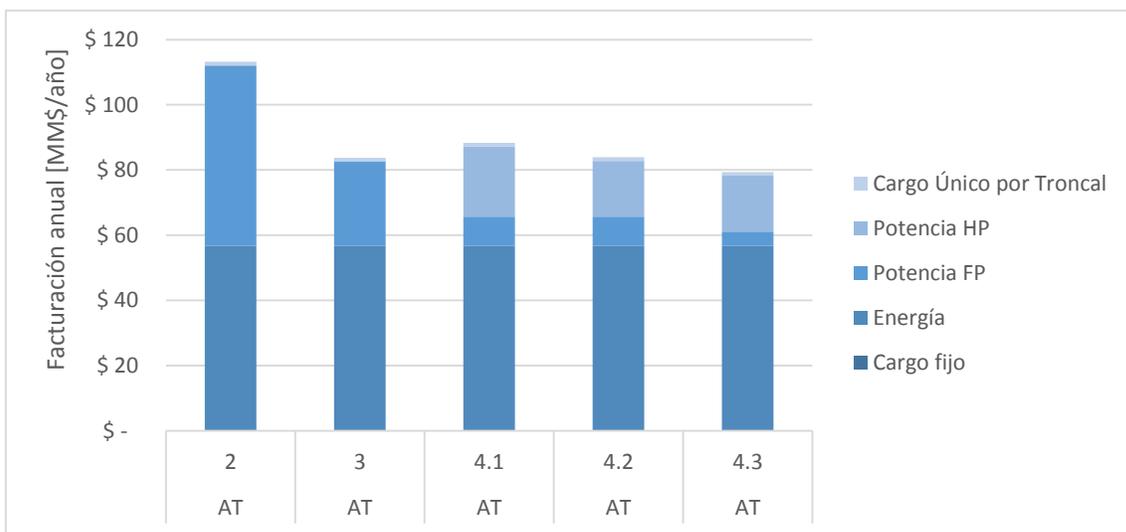


Gráfico 67 Desglose por cargos tarifa 2013 para consumo PP.

En este caso, resulta conveniente mantener la tarifa AT4.3, reportando un beneficio de aproximadamente 3.5 MM\$ durante el año 2013.

En caso de calificar como consumo PPP, la simulación arrojó los siguientes resultados.

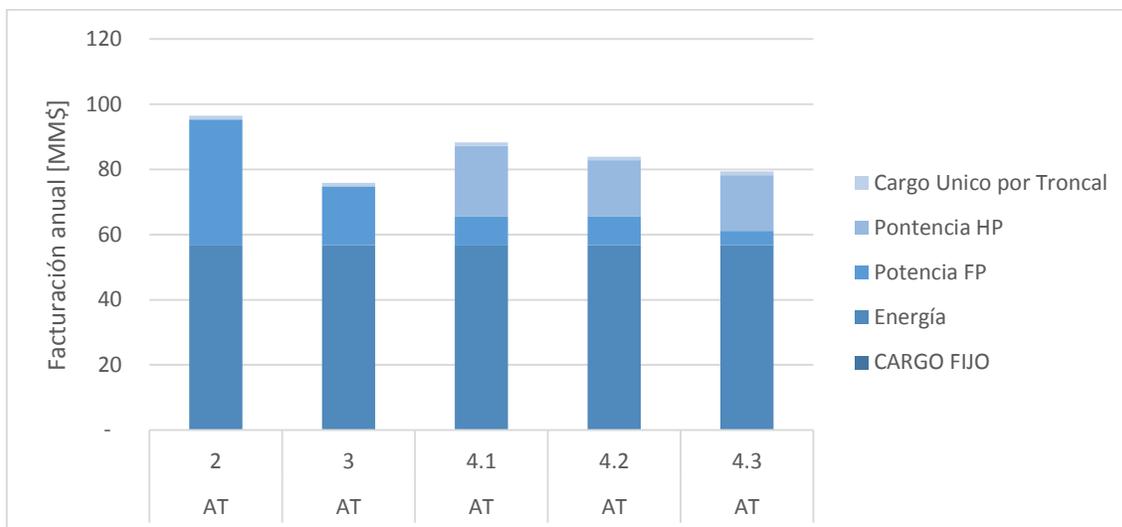


Gráfico 68 Desglose por cargos tarifa 2013 para consumo PPP.

En este caso, resulta recomendable el cambio a una tarifa tipo AT3, con un beneficio cercano a 3.5 MM\$ en comparación a la tarifa actual.

Dada la incertidumbre de la conveniencia de una cambio tarifario, se recomienda evaluar la calificación del consumo (como PP o PPP).

Oportunidades detectadas en el uso

Zona 1

La Zona 1, que alberga el Edificio Escuela, posee el tercer consumo energético más importante en el Campus. De acuerdo a los datos presentados, en esta zona el funcionamiento de equipos de iluminación y climatización alcanzan el 62% del consumo total.

Iluminación

La distribución del consumo energético por equipos de iluminación, mostrada en el Gráfico 69, señala un consumo por luminarias halógenas, las que representan más del 10% del total del consumo de la Zona 1.

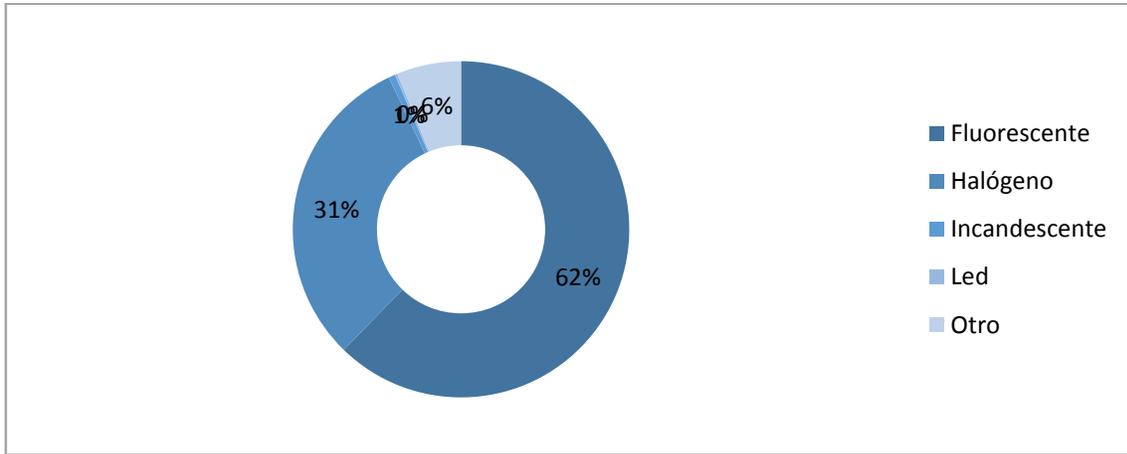


Gráfico 69 Consumo de luminarias según recinto en Zona 1.

El gráfico inferior indica una gran cantidad de luminarias halógenas ubicadas en Biblioteca y zonas de Tránsito. Se advierte una oportunidad de mejora en el reemplazo de las luminarias halógenas por luminarias más eficientes, que pueden reducir el consumo hasta en un 70% [44].

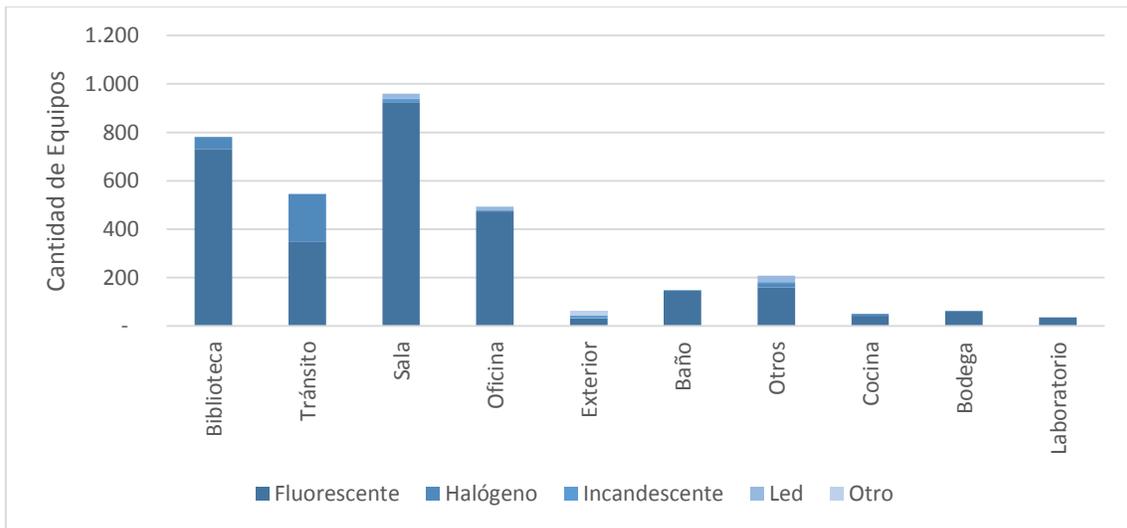


Gráfico 70 Cantidad de luminarias por recinto en Zona 1.

Climatización

El Gráfico 71 presenta la distribución del consumo energético por uso de equipos de climatización. De acuerdo con el gráfico, el equipo chiller representa el mayor consumo, equivalente al 10% del total de la Zona 1.

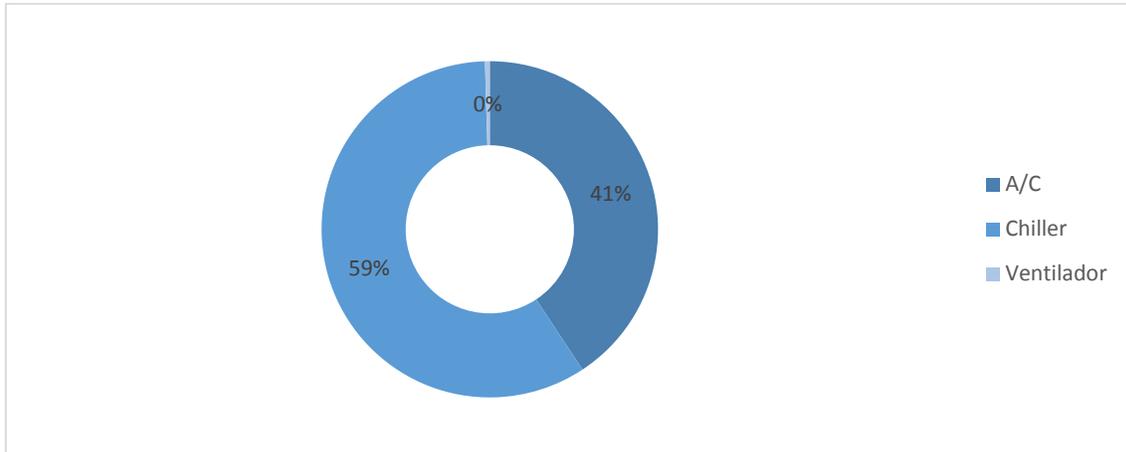


Gráfico 71 Consumo energético de equipos de climatización en Zona 1.

Las características principales del chiller utilizado en esta zona se presentan a continuación:

Ítem	Valor
Tipo de equipo	Chiller enfriado por aire
Marca	Carrier
Modelo	30GTN080-920
Capacidad de Refrigeración (ton)	81
Potencia de alimentación (kW)	101
COP	2,85

Tabla 43 Características generales Chiller Confort, Zona 1.

El desempeño energético de un equipo de refrigeración tipo chiller depende básicamente de:

- 1- la temperatura media en el lugar de emplazamiento,
- 2- la tecnología del equipo,
- 3- el mantenimiento del equipo y
- 4- la operación del equipo.

Las líneas de acción de eficiencia energética abordan los tres últimos puntos. En los chiller por compresión, como es el caso de los equipos utilizados en el Campus, una de las medidas de eficiencia más comunes corresponde a adaptar la velocidad del motor a través de un variador de frecuencia, lo que puede generar ahorros de hasta un 50% [33]. Por otro lado, los sistemas de almacenamiento térmico realizan una gestión eficiente del suministro cuando se tienen precios de electricidad diferenciados por horario. La aplicación de estas medidas debe ser consultada y evaluada por un especialista.

Por otro lado, la mantención adecuada del equipo resulta muy importante para prevenir y reparar ineficiencias en el consumo del equipo. Un buen mantenimiento, además de asegurar el buen estado de los componentes del equipo, debe identificar y reducir las pérdidas de calor que afectan al proceso de refrigeración. Para esto se recomienda realizar una mantención periódica que incluya, al menos, los siguientes puntos:

- 1- Mantener libre de hielo la superficie del evaporador.
- 2- Remover las obstrucciones en el intercambiador de calor.
- 3- Evitar la acumulación de aceite en los compresores.
- 4- Cambiar periódicamente el lubricante del compresor.
- 5- Detectar y reparar fugas de calor en el circuito.

Por último, los aspectos asociados a la operación tienen que ver con el tiempo y la temperatura de funcionamiento. Existen diversas estrategias para controlar estas variables: temporizadores, programación del encendido y apagado del equipo, programación de la temperatura de refrigeración, entre otros. Optimizar el funcionamiento de los equipos por un control automático eficiente puede reducir el consumo en hasta un 30% [32]. Dada la información disponible no es posible identificar alguna oportunidad en la reducción del tiempo de operación o el control de la temperatura. Se recomienda realizar un estudio más acabado del impacto de la operación sobre el consumo del equipo, que permita identificar oportunidades de mejora y determinar medidas de eficiencia energética.

Otros

De acuerdo con el Gráfico 72, la mayor parte del consumo se debe al uso de equipos sin descripción. Se desestima el potencial de ahorro en el resto de los equipos.

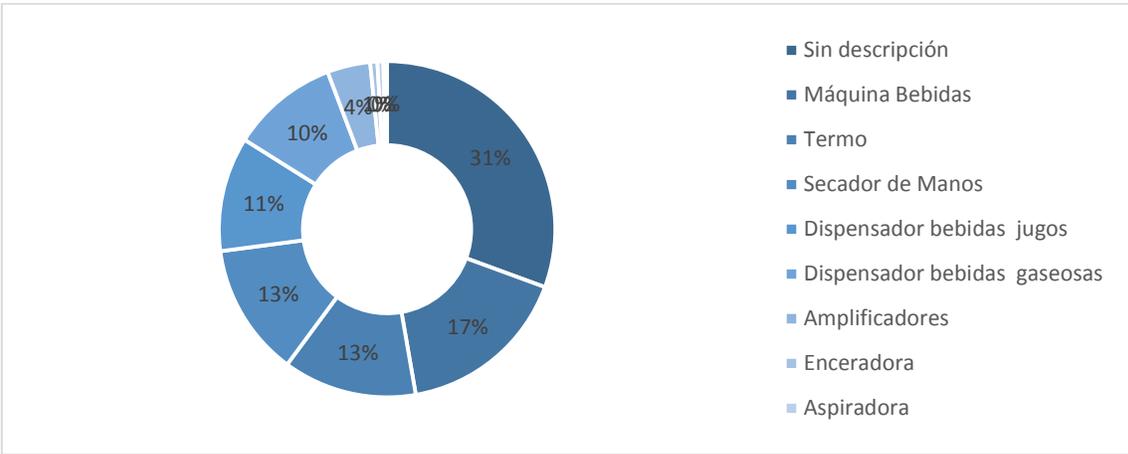


Gráfico 72 Distribución del consumo de equipos clasificados como "otros", Zona 1.

Zona 2

A continuación se presentan las oportunidades de mejora identificadas en los sistemas más significativos en la zona.

Laboratorio

El consumo energético más importante en esta zona se debe al uso de equipos de laboratorio. En el Gráfico 73 se presenta el desglose del consumo de estos equipos. Se puede apreciar una distribución más bien uniforme en el consumo por tipo de equipo.

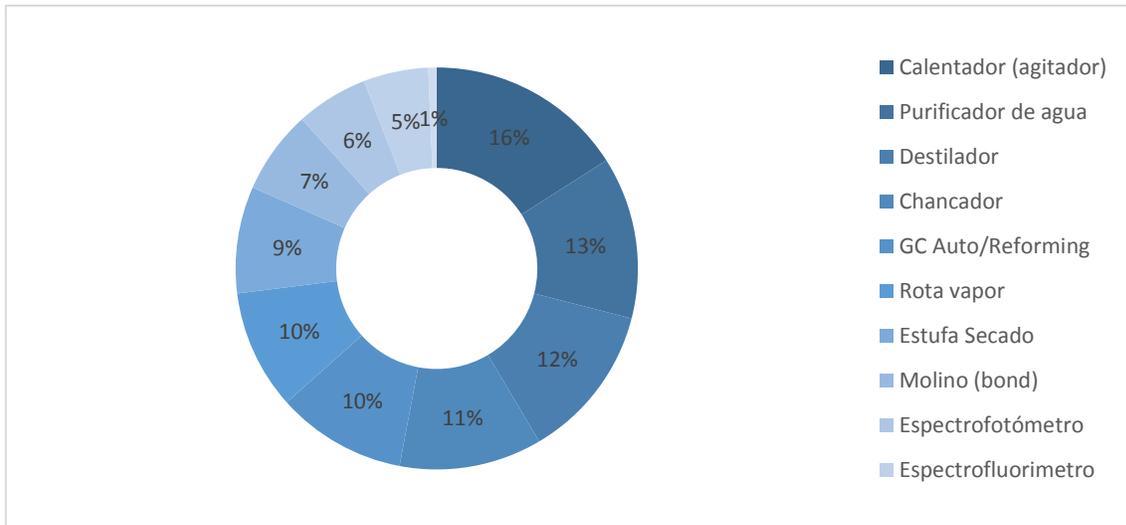


Gráfico 73 Consumo energético de equipos de laboratorio, Zona 2.

La distribución uniforme del consumo de estos equipos conduce a desestimar medidas focalizadas. Se sugiere estudiar la actividad de laboratorio a fin de detectar alguna medida de mejora.

Iluminación

El Gráfico 74 muestra el consumo energético por equipos de iluminación. Se detecta una oportunidad de mejora en el reemplazo de las luminarias incandescentes, que consumen el 4% del total por iluminación.

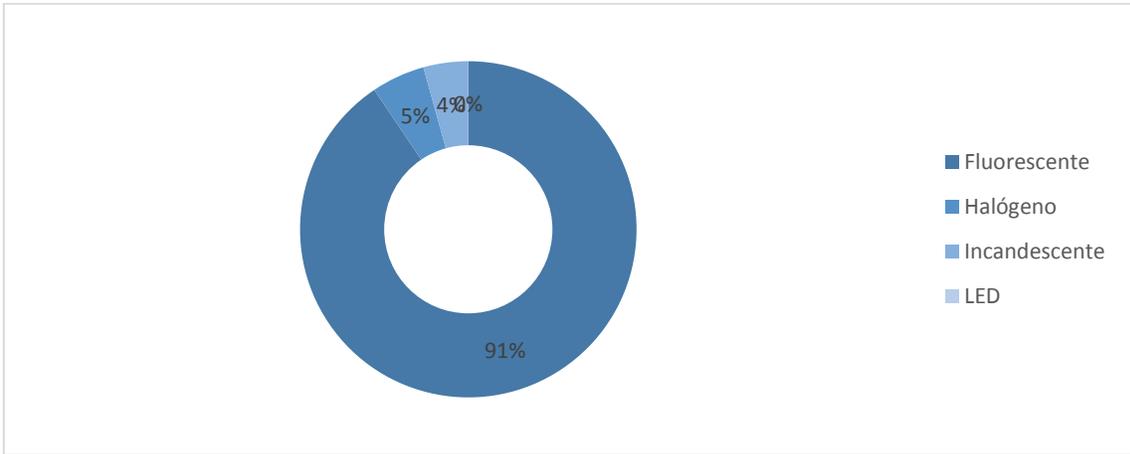


Gráfico 74 Consumo energético luminarias, Zona 2.

Climatización

El gráfico inferior muestra que el mayor consumo por equipos de clima está asociado a las actividades en las salas de clase. Dentro de estos equipos se presume que parte importante de este consumo se debe al funcionamiento de una máquina de más de 10 años de antigüedad de baja eficiencia.

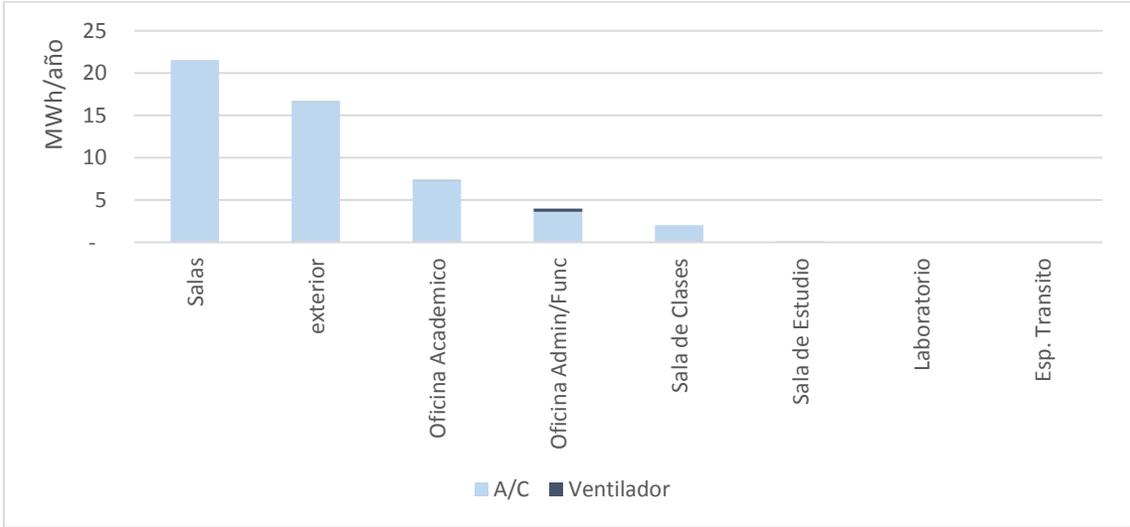


Gráfico 75 Consumo de equipos de climatización en Zona 2.

Zona 3

En lo siguiente se presentan las oportunidades de mejora detectadas en los sistemas de mayor consumo energético en esta zona.

Climatización

De acuerdo con el Gráfico 76, el consumo energético más importante en esta zona se debe al uso de equipos de aire acondicionado.

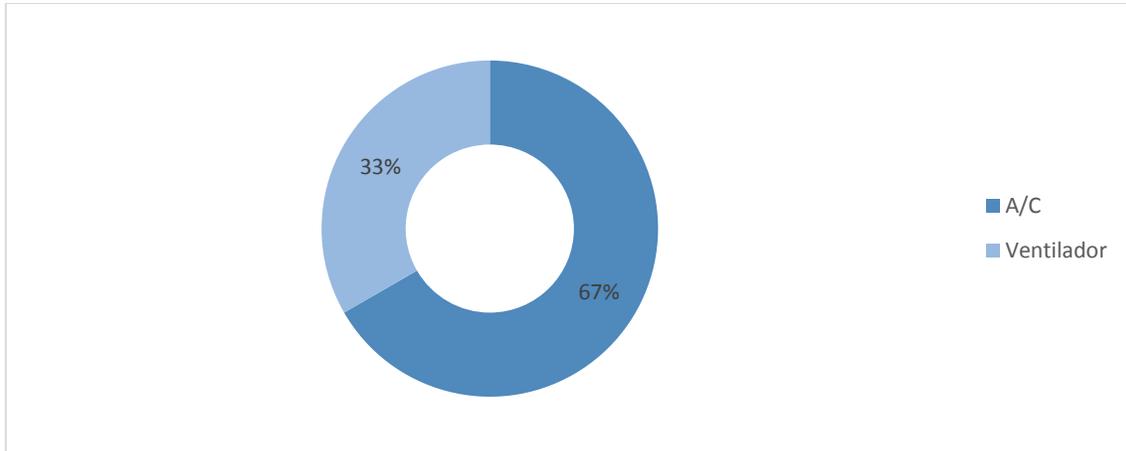


Gráfico 76 Consumo energético equipos de climatización, Zona 3.

En el Gráfico 77 se observa que el consumo por climatización es casi exclusivo de las oficinas, donde se concentra la gran mayoría de los equipos.

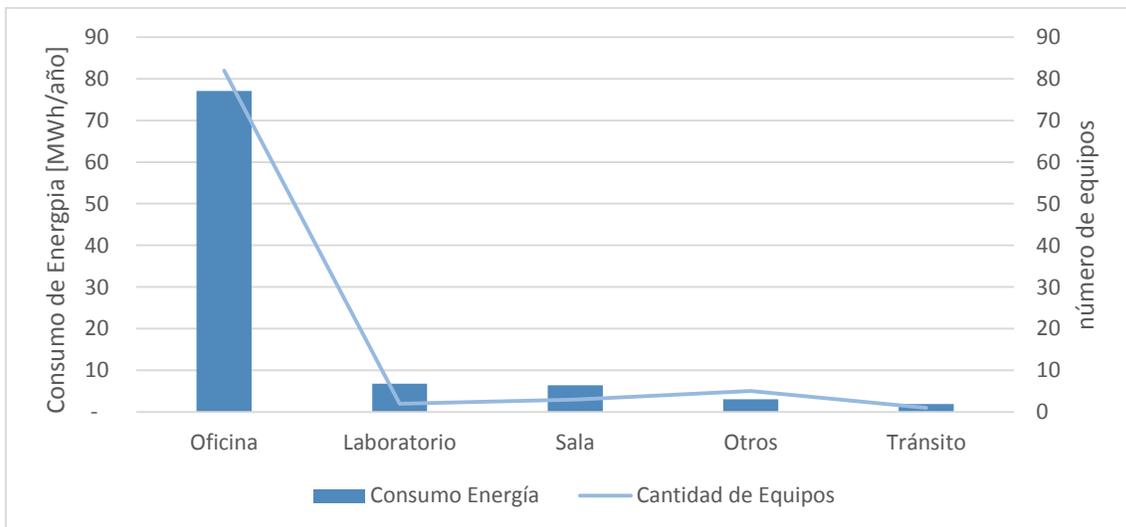


Gráfico 77 Consumo energético y cantidad de equipos de aire acondicionado, Zona 3.

Los equipos de aire acondicionado en oficinas son diversos, tanto en antigüedad como en capacidad. Dada la gran cantidad de equipos que sirven a oficinas y la disposición física del edificio Torre Central, que recibe radiación solar en su fachada norte y mientras ocurre lo contrario en su fachada sur, puede resultar conveniente la instalación de un sistema VRV con recuperación de calor.

Por otro lado, resulta más económico evaluar la operación de estos equipos y detectar oportunidades asociadas a la reducción del tiempo de uso o mejoras en la operación de los equipos.

Iluminación

En el gráfico inferior se muestra la distribución del consumo energético de las luminarias existentes en esta zona. Se puede observar que casi un 20% del consumo se debe al uso de luminarias halógenas e incandescentes.

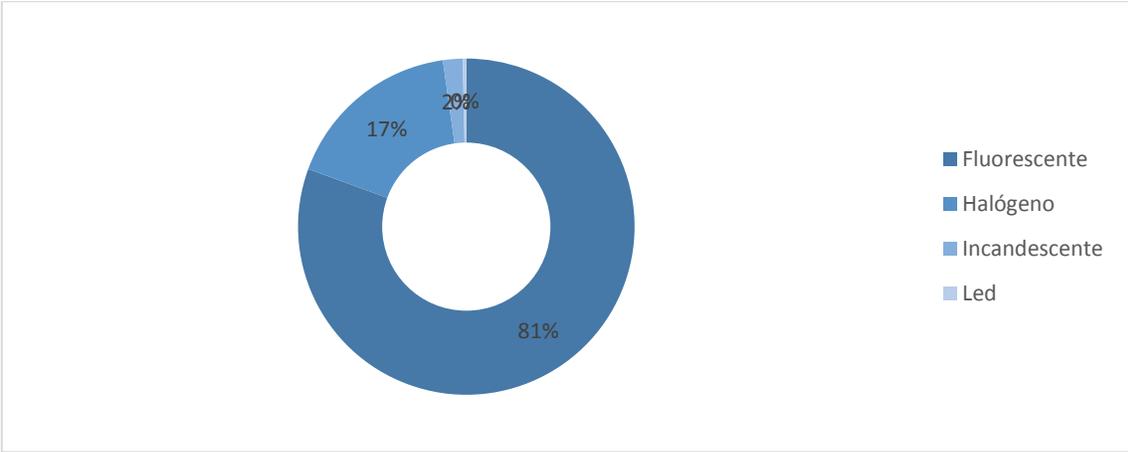


Gráfico 78 Consumo energético luminarias, Zona 3.

Parte del consumo de las luminarias halógenas se debe al uso de los equipos dispuestos en la cancha aledaña a la Torre Central. El reemplazo de estas luminarias por otras más eficientes (LED por ejemplo) puede significar un ahorro por sobre el 70%.

Computación

En el Gráfico 79 se presenta el consumo de los equipos de computación en la Zona 3. Se advierte que el mayor consumo se debe al uso de computadores de escritorio en las oficinas de la zona.

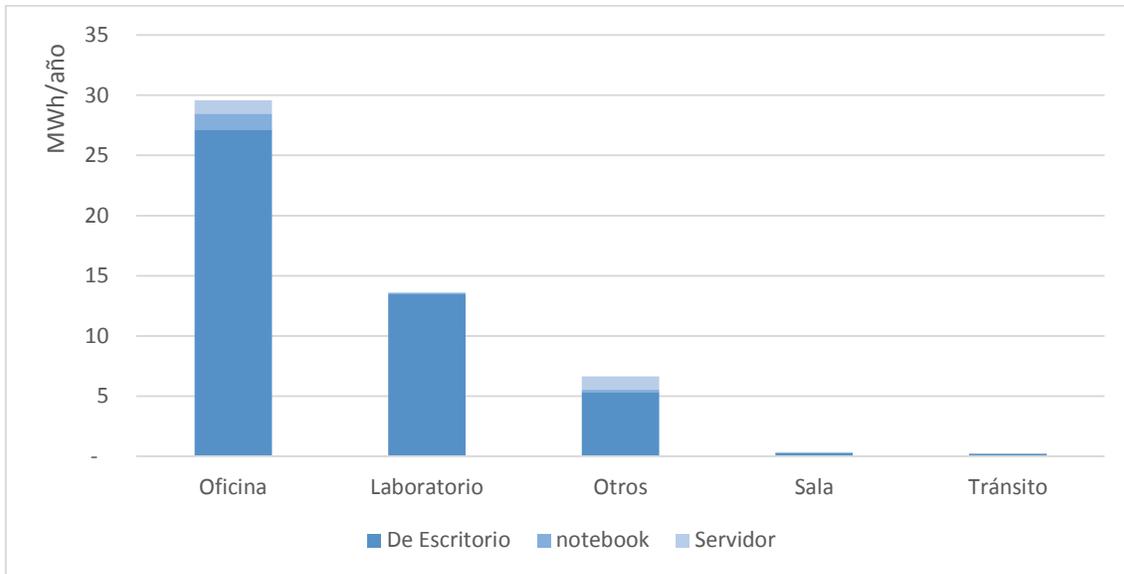


Gráfico 79 Consumo de equipos de computación en Zona 3.

Se advierte una oportunidad de mejora en reducir el tiempo de uso, a través la promoción de un uso más eficiente, y el reemplazo de estos equipos por modelos de menor consumo.

Zona 4

En este punto se presentan las oportunidades de mejora identificadas en los consumos más significativos de la Zona 4.

Laboratorio

El consumo energético se encuentra asociado principalmente al uso de equipos de laboratorio. Se observa, en el gráfico inferior, que el mayor consumo se debe al uso de hornos y estufas, los que representan el 25% del total por equipos de laboratorio.

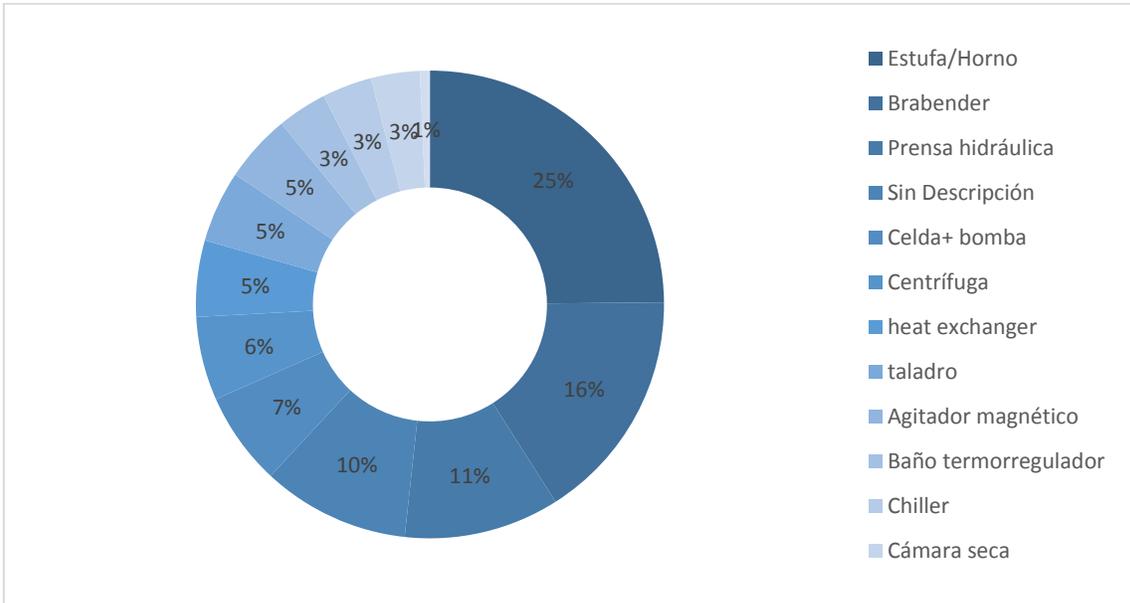


Gráfico 80 Consumo energético equipos de laboratorio, Zona 4.

Dada la información disponible, no es posible diagnosticar oportunidades de mejora. Se recomienda revisar el manejo y operación de estos equipos.

Iluminación

El Gráfico 81 presenta la distribución del consumo energético de los equipos de iluminación. Se identifica un potencial de ahorro en el reemplazo de las luminarias halógenas por equipos más eficientes.

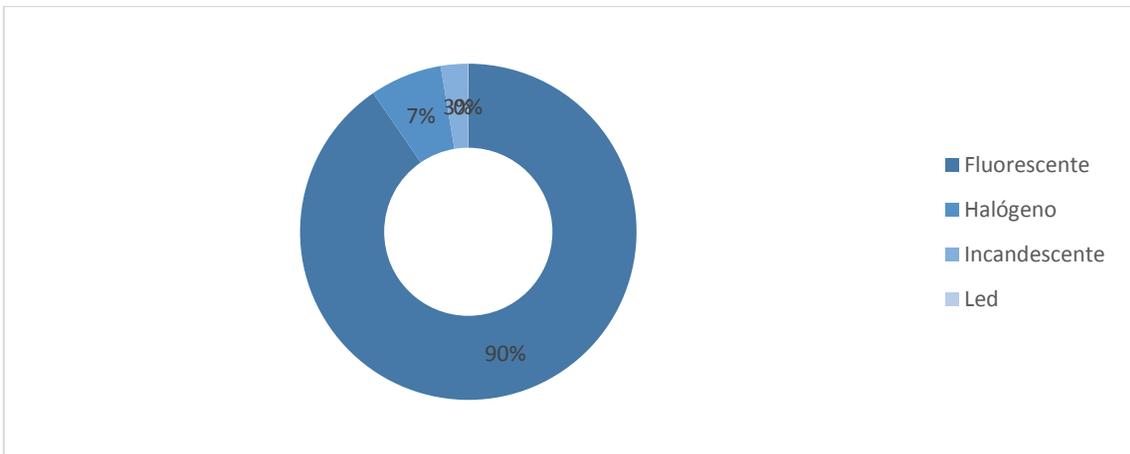


Gráfico 81 Consumo energético luminarias, Zona 4.

Computación

En el Gráfico 82 se puede observar que el mayor consumo se debe al uso de computadores de escritorio en los laboratorios. Los equipos utilizados en los laboratorios responden a exigencias técnicas específicas y funcionan de acuerdo a las actividades desarrolladas. Por tanto, con la información disponible no se advierten oportunidades de mejora en estos equipos.

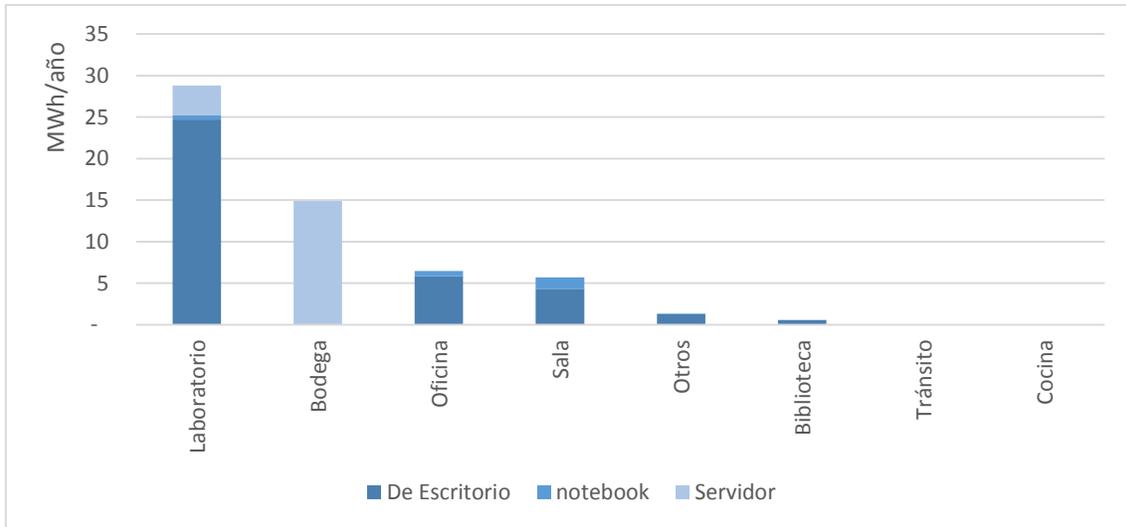


Gráfico 82 Distribución del consumo de equipos de computación en Zona 4.

Zona 5

Esta zona alberga a uno de los edificios de mayor extensión en el campus. Los consumos más importantes en este edificio corresponden a los sistemas de climatización, computación e iluminación. A continuación se presentan las oportunidades de mejora detectadas en estos sistemas.

Climatización

De acuerdo a la información presentada en el Gráfico 83 la totalidad del consumo energético en climatización corresponde a equipos de aire acondicionado.

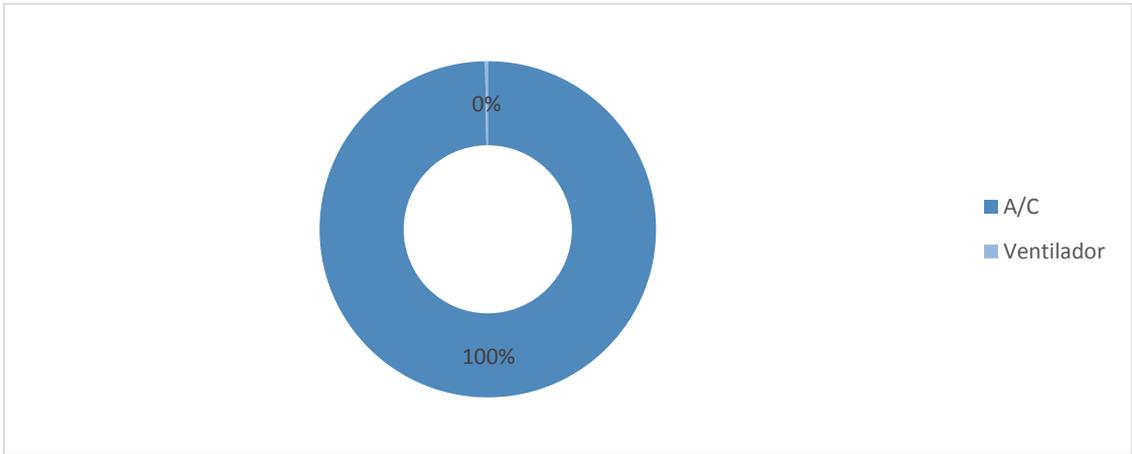


Gráfico 83 Consumo energético de equipos de climatización en Zona 5.

El gráfico inferior presenta el consumo energético de equipos de aire acondicionado por tipo de recinto en la Zona 5.

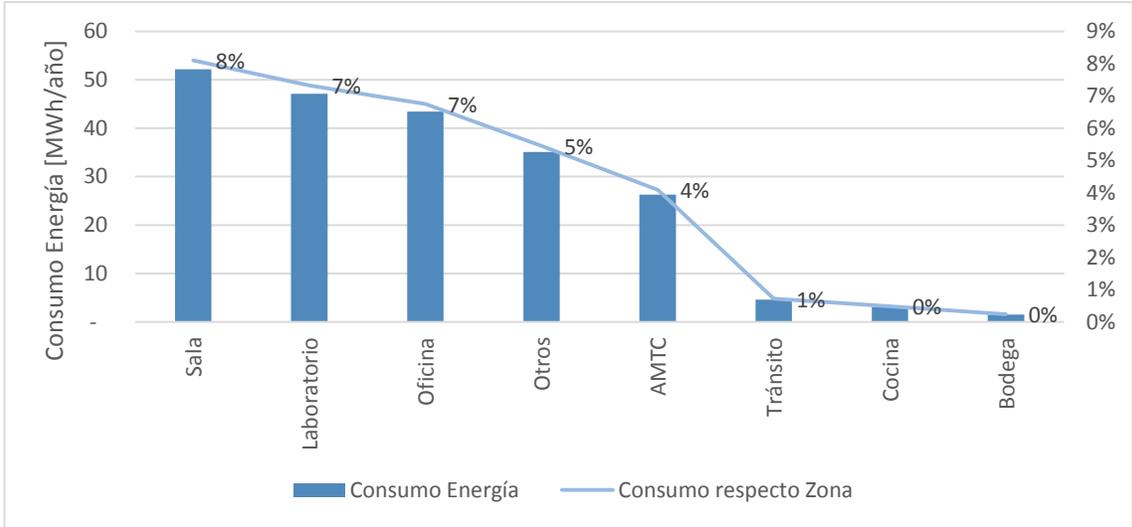


Gráfico 84 Consumo equipos de aire acondicionado por recinto en Zona 5.

Se observa que el consumo energético por aire acondicionado en AMTC representa un 4% del consumo energético total de la zona, la mitad del consumo en salas de clase y estudio, correspondiente a un 8%. No obstante, al comparar las superficies que cubren los sistemas de climatización, de acuerdo a la estimación del área correspondiente a cada recinto presentada en la tabla inferior, se advierte mayor eficiencia en el equipo de aire acondicionado de AMTC.

Recinto	Área Estimada	Consumo Energía	Valor Normalizado
	m ²	kWh/año	kWh/año/m ²
Salas	830	52.170	63
Laboratorios	655	47.103	72
Oficinas	653	43.421	66
AMTC	940	26.303	28

Tabla 44 Estimación del consumo energético de equipos de aire acondicionado por superficie.

El recinto AMTC posee 5 equipos que componen un sistema VRV (volumen refrigerante variable) con recuperación de calor, cuyas características se muestran en la tabla inferior:

Característica	Valor
Marca	TOSHIBA Carrier
Modelo	MMY-MAP100FT8
Capacidad Enfriamiento (kW)	28
Capacidad Calefacción (kW)	31
Potencia promedio (kW)	8,6

Tabla 45 Características generales de equipos de aire acondicionado en AMTC.

Los equipos de aire acondicionado utilizados en el resto del edificio corresponden principalmente a equipos tipo split de techo y muro, de potencias eléctricas en el rango de los 2.600 a 6.900 W. Se advierte una oportunidad de reducción del consumo en climatización por el reemplazo de equipos split que alimentan las salas, laboratorios y oficinas, por un sistema similar al instalado en AMTC.

Computación

De acuerdo a la información presentada en el Gráfico 85 el consumo energético de equipos de computación se debe principalmente al uso de computadores de escritorio y servidores.

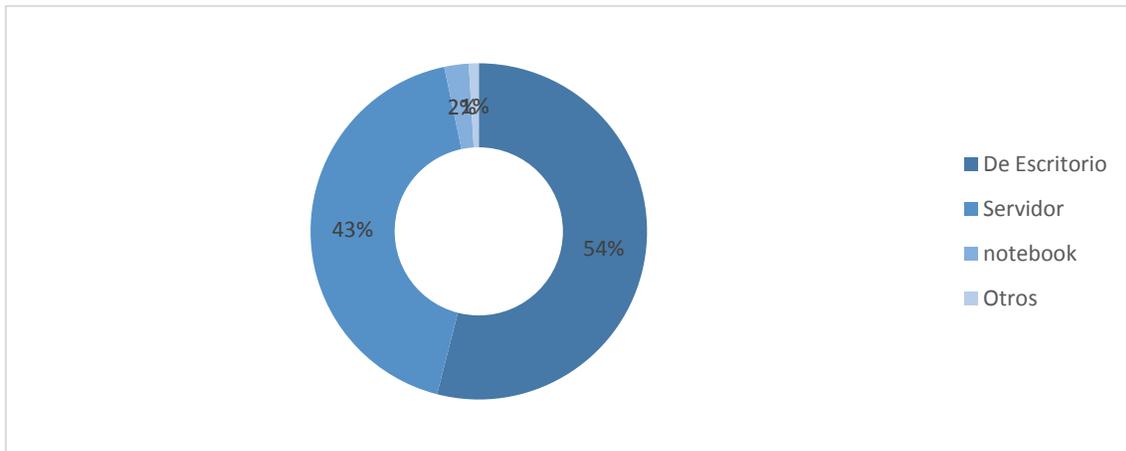


Gráfico 85 Consumo energético de equipos de computación en Zona 5.

En el gráfico inferior se representa el consumo energético y la cantidad de computadores de escritorio en los recintos de la Zona 5. Se observa que el consumo energético se relaciona directamente a la cantidad de equipos.

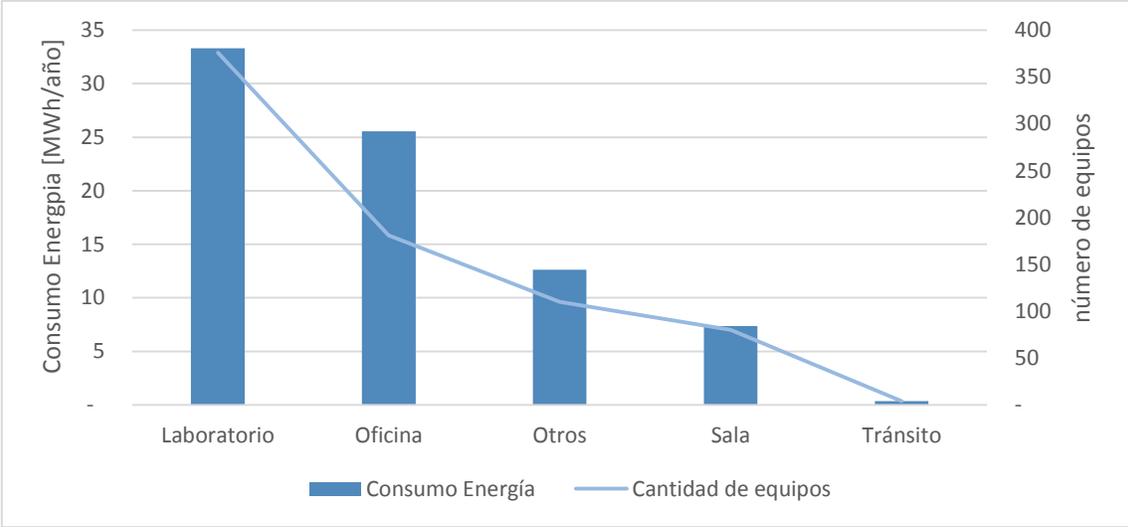


Gráfico 86 Consumo energético y cantidad de computadores de escritorio en Zona 5.

Las mejoras de eficiencia energética en los equipos de escritorio se basan en la disminución del tiempo de uso y/o la disminución de la potencia del equipo por cambio de tecnología. Dadas las exigencias particulares de los equipos utilizados en laboratorios, resulta poco factible realizar acciones sobre el tiempo de uso o la tecnología de los equipos. En oficinas, en cambio, existe mayor facilidad para implementar acciones de disminución del tiempo de uso o cambio tecnológico debido a una operación y equipamiento estándar y conocidos.

Por otro lado, las oficinas del edificio se encuentran relativamente resguardadas, dando facilidades para el uso relativamente seguro de equipos tipo notebook. Ligado a lo anterior, se advierte una oportunidad de mejora en el reemplazo de equipos de escritorio por equipos notebook en estos recintos.

Iluminación

En el Gráfico 87 se puede observar un consumo en torno al 5% por el uso de equipos de baja eficiencia como son las luminarias incandescentes. Se advierte una oportunidad de mejora por el reemplazo de estos equipos.

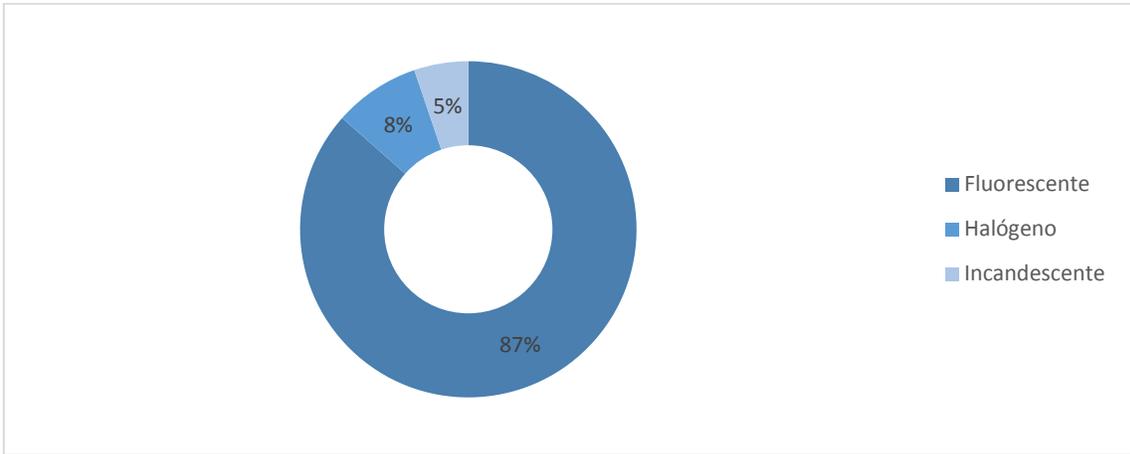


Gráfico 87 Consumo energético de luminarias en Zona 5.

Zona 6

La Zona 6 representa el 2do consumo más importante del campus, alcanzando el 12% del total. Dentro de la Zona 6 se identificaron los consumos de climatización, computación e iluminación como los más relevantes.

A continuación se presentan las oportunidades de mejora de los sistemas más importantes en la Zona 6. Siguiendo un orden de acuerdo consumo energético de cada sistema, se presentan primero las oportunidades en climatización, luego computación y finalmente iluminación.

Climatización

La distribución del consumo energético por equipos de climatización se presenta en el Gráfico 88.

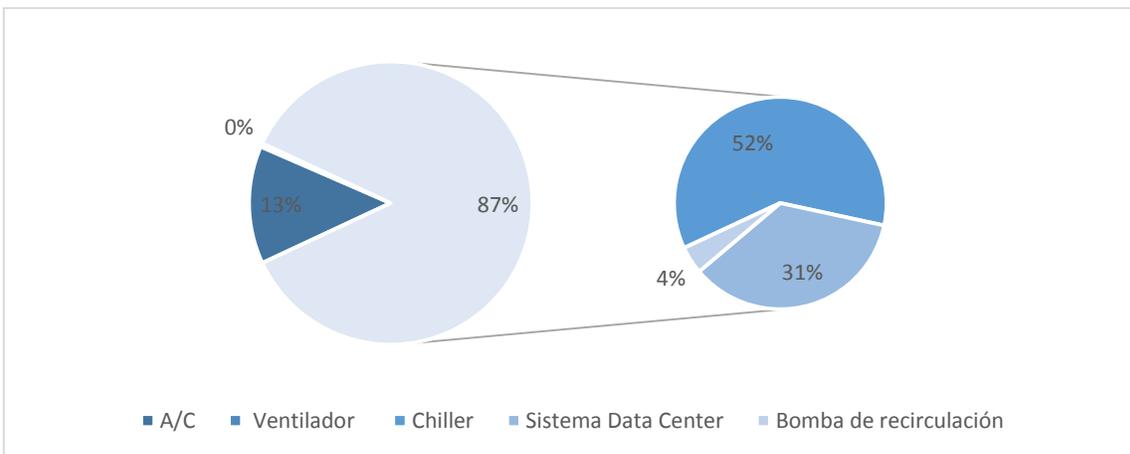


Gráfico 88 Consumo energético de equipos de climatización, en Zona 6.

El gráfico muestra que los equipos Chiller, bombas y el sistema de refrigeración del centro de datos consumen casi la totalidad de la energía por este ítem. En lo siguiente se revisan estos dos equipos.

Chiller Confort

El equipo de mayor consumo, Chiller, representa el 17% del consumo energético total de la Zona 6. Este equipo opera bajo demanda de los usuarios del edificio. Las características principales de este equipo se presentan a continuación:

Características	Valor
Tipo de equipo	Chiller enfriado por aire
Marca	Climaveneta
Modelo	WRAT/HT 1442
Capacidad de Refrigeración (kW)	330
Potencia de alimentación (kW)	172
COP	1,91

Tabla 46 Características generales equipo chiller Zona 6.



Ilustración 20 Fotografía equipo chiller Zona 6.

El desempeño energético de un equipo de refrigeración tipo chiller depende básicamente de:

- 1- la temperatura media en el lugar de emplazamiento,
- 2- la tecnología del equipo,

- 3- el mantenimiento del equipo y
- 4- la operación del equipo.

Las líneas de acción de eficiencia energética abordan los tres últimos puntos. Los equipos nuevos son, en general, más eficientes, incluyendo operación por *Free Cooling*, control programable, entre otros. En los equipos por compresión, como es el caso de los equipos utilizados en el campus, una de las medidas de eficiencia más comunes corresponde a adaptar la velocidad del motor a través de un variador de frecuencia, lo que puede generar ahorros importantes en la operación del equipo. Por otro lado, los sistemas de almacenamiento térmico realizan una gestión eficiente del suministro cuando se tienen precios de electricidad diferenciados por horario. No obstante, la aplicación de estas medidas debe ser consultada y evaluada por un especialista.

Un buen mantenimiento del equipo resulta muy importante para prevenir y reparar ineficiencias en el consumo del equipo. Un buen mantenimiento debe identificar y reducir las pérdidas de temperatura y calor que afectan al equipo. Para esto se recomienda realizar una mantención periódica que incluya, al menos, los siguientes puntos:

- 1- Mantener libre de hielo la superficie del evaporador.
- 2- Remover las obstrucciones en el intercambiador de calor.
- 3- Evitar la acumulación de aceite en los compresores.
- 4- Cambiar periódicamente el lubricante del compresor.
- 5- Detectar y reparar fugas de calor en el circuito.

Por último, los aspectos asociados a la operación tienen que ver con el tiempo y la temperatura de funcionamiento. Existen diversas estrategias para controlar estas variables: temporizadores, programación del encendido y apagado del equipo, programación de la temperatura de refrigeración, entre otros. Dada la información disponible no es posible cuantificar alguna oportunidad en la reducción del tiempo de operación o el control de la temperatura. Se recomienda realizar un estudio más acabado del impacto de la operación sobre el consumo del equipo, que permita identificar oportunidades de mejora y determinar medidas de eficiencia energética.

Chiller Centro de Datos

Los equipos de refrigeración que sirven al Centro de datos de Geofísica fueron instalados en Diciembre del año 2013, reemplazando a los equipos de aire acondicionado utilizados hasta entonces. Se cuentan tres unidades de refrigeración que alternan su funcionamiento

en turnos de 8 hrs, operando sólo una unidad a la vez. Las características principales de estos equipos se muestran en la Tabla 47.

Características	Valor
Tipo de equipo	Chiller enfriado por aire
Marca	STULZ
Modelo	Compact Plus CPD 261 A
Capacidad de Refrigeración (kW)	27,6
Potencia de alimentación (kW)	7,7
COP	2,46

Tabla 47 Características generales de equipo chiller centro de datos en Zona 6.

Estos equipos operan las 24 hrs del día, manteniendo una temperatura constante en el Centro de Datos del edificio ubicado en el piso -2. El funcionamiento de estos equipos depende de la temperatura requerida y la carga térmica existente en el recinto donde se encuentran los servidores.

En general, para evaluar el desempeño energético de un centro de datos se utiliza el indicador PUE (Power Usage Effectiveness) que relaciona el consumo energético de toda la infraestructura requerida por el centro de datos con el consumo energético de los equipos de TI.

$$PUE = \frac{\text{Consumo Total de Infraestructura}}{\text{Consumo Equipos TI}}$$

De acuerdo con la definición anterior, entre más pequeño es el PUE más eficiente es el desempeño energético del centro de datos. Un centro de datos eficiente posee un PUE menor o igual a 1,5 [35]. En el ámbito nacional, la empresa VTR ha emprendido medidas de eficiencia energética sobre sus equipos de climatización, logrando reducir el PUE hasta en 0,5 puntos [45].

La experiencia internacional muestra resultados favorables a la aplicación de medidas de eficiencia energética en centros de datos. A continuación se presentan algunas medidas implementadas en centros de datos de compañías de comunicaciones europeas tomadas del informe del año 2012 de la *European Telecommunication Network Operators' Association* [35]:

- 1- Free cooling: presenta ahorros energéticos anuales de hasta un 40%.
- 2- Instalación de ventiladores eficientes: hasta un 40% de reducción del consumo anual de energía, con un período de recuperación del capital (PRI) de 2 años.

- 3- Instalación de unidades de cogeneración en data center y oficinas: hasta un 37% de reducción del consumo energético anual, con un PRI de 4 años.
- 4- Aumento de temperatura de trabajo: hasta un 20% de reducción del consumo anual de energía.
- 5- Cerramiento por pasillo caliente: hasta un 35% de reducción del consumo energético anual, con un PRI de 4 años.

Se advierte una oportunidad de mejora en el estudio e implementación de alguna medida de eficiencia sobre el consumo energético de los equipos de refrigeración del centro de datos.

Computación

En los equipos de computación se observa que la mayor parte del consumo se debe al funcionamiento de servidores, los que operan durante las 24 hrs del día. Las acciones de eficiencia energética en estos equipos están orientadas a la elección de equipos en la etapa de adquisición.

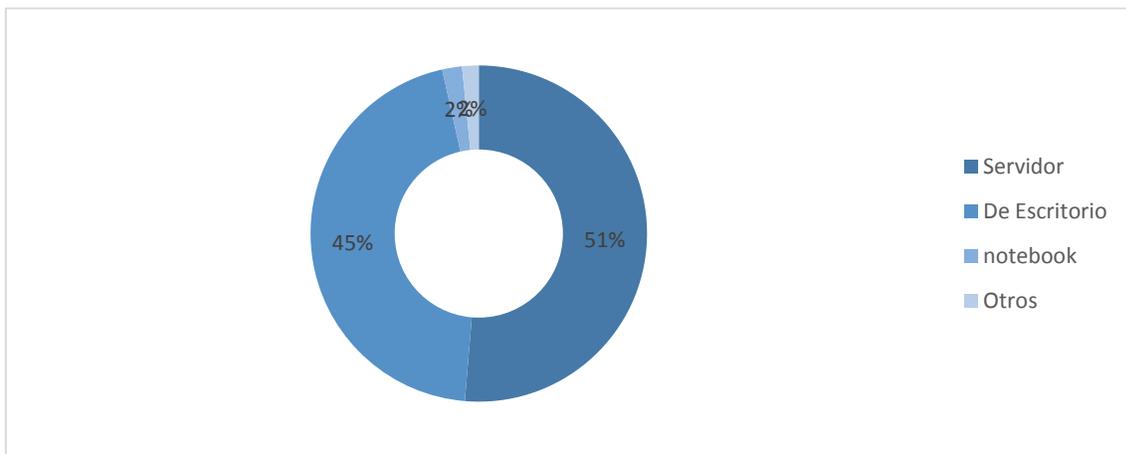


Gráfico 89 Consumo energético de equipos de computación en Zona 6.

El Gráfico 90 se observa que los recintos con mayor consumo por uso de computadores de escritorio corresponden a las oficinas, lo que se relaciona con la cantidad de equipos instalados.

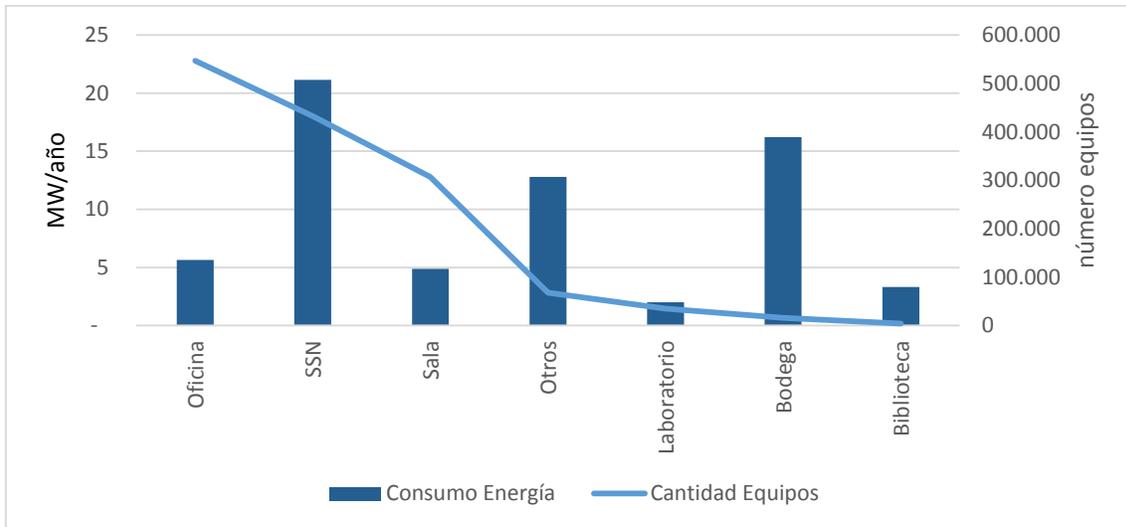


Gráfico 90 Consumo energético y cantidad de computadores de escritorio en Zona 6.

Dada la cantidad de equipos, se recomienda la promoción del uso eficiente de los equipos apuntando a disminuir el tiempo de funcionamiento.

Iluminación

La distribución del consumo por equipos de iluminación mostrada en el Gráfico 91 muestra una oportunidad de mejora por el reemplazo de luminarias incandescentes.

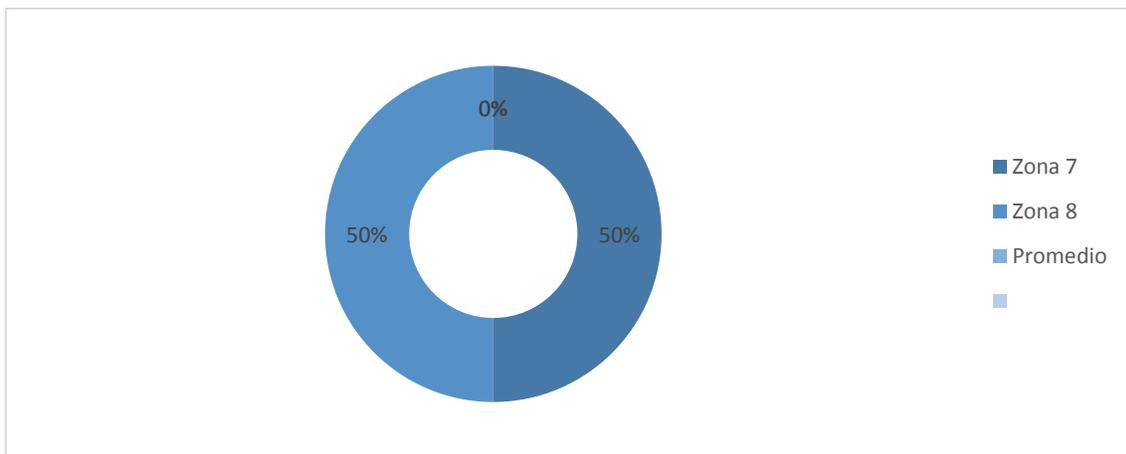


Gráfico 91 Consumo energético de luminarias en Zona 6.

Zona 7

El consumo energético más relevante en esta zona se debe al uso de equipos de climatización y de laboratorio. A continuación se presentan las oportunidades de mejora detectadas en estos equipos.

Climatización

De acuerdo a los datos presentados en el Gráfico 92 el consumo energético de esta zona se debe principalmente al uso de equipos de aire acondicionado.

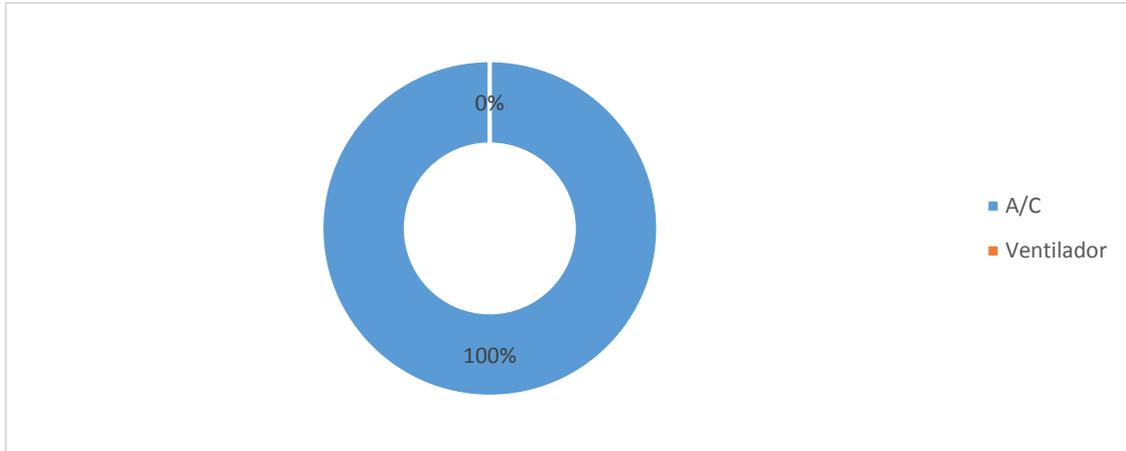


Gráfico 92 Consumo energético de equipos de climatización, Zona 7.

En el gráfico inferior se muestra el consumo energético y el tiempo promedio²² de uso de estos equipos de acuerdo al tipo de recinto en la Zona 7.

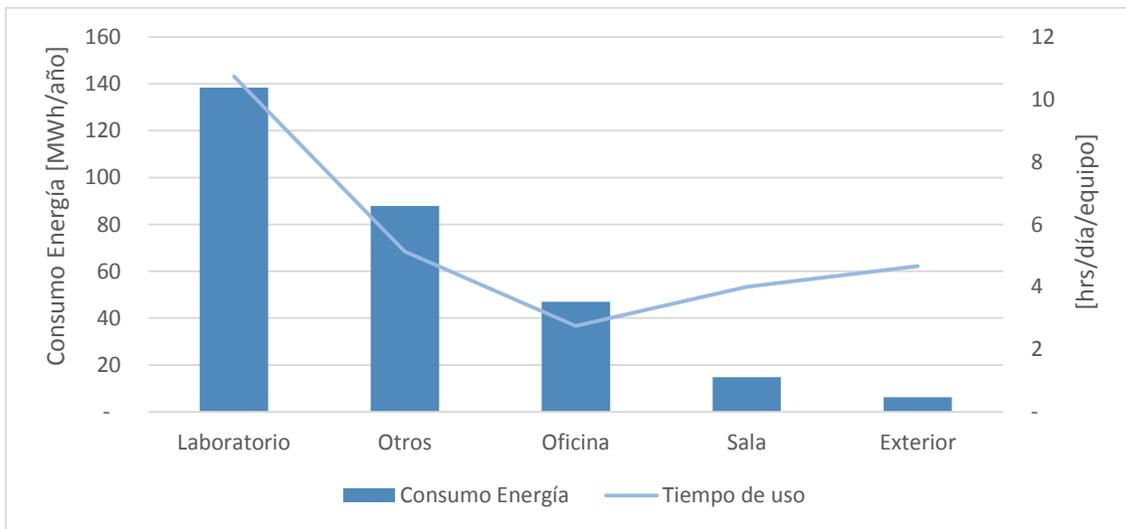


Gráfico 93 Consumo energético y tiempo de uso de equipos de aire acondicionado, Zona 7.

Se desprende del gráfico anterior que el consumo energético de los equipos de aire acondicionado está directamente relacionado con el tiempo de uso de los equipos. El consumo energético en laboratorios representa el 24% del consumo total de la zona, lo que

²² El tiempo de uso diario se estimó considerando un año laboral de 11 meses con 30 días cada mes.

se traduce en un 3% del consumo total del Campus. Este tipo de recintos presenta altas exigencias de ventilación y temperatura, debido a los equipos y procesos desarrollados. Universidades extranjeras han conseguido ahorros de hasta un 50% por la implementación de un control inteligente de los equipos de climatización [25], por lo que se advierte una oportunidad de mejora en la aplicación de esta estrategia en el sistema de climatización de esta zona.

Laboratorio

El segundo consumo más importante corresponde a los equipos de laboratorio. El desglose de estos equipos se presenta en el gráfico inferior, donde se observa que cercad de la mitad del consumo corresponde exclusivamente a un equipo, el Bypass.

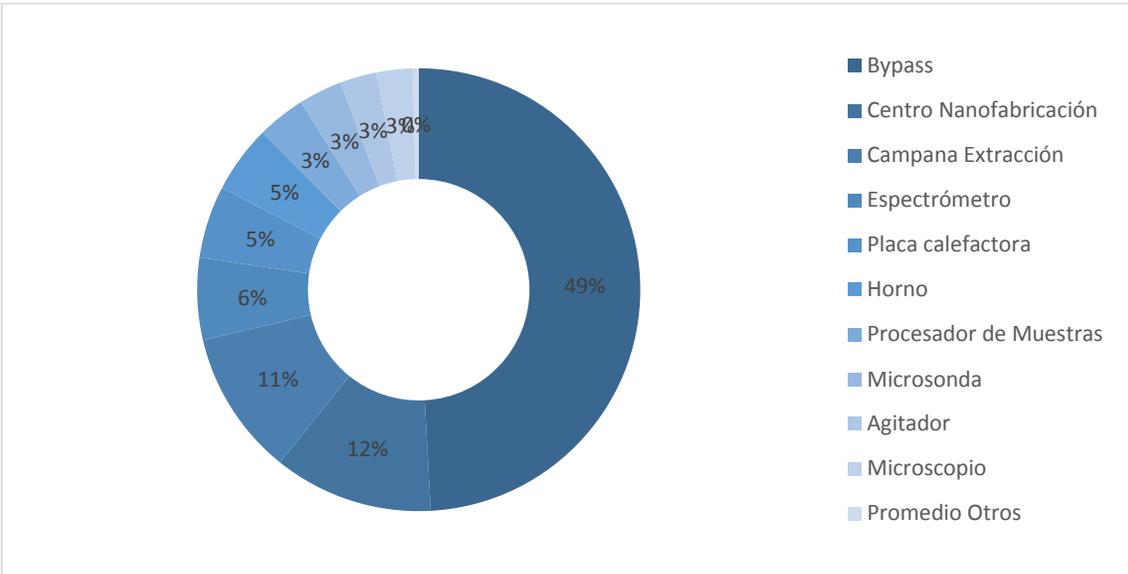


Gráfico 94 Consumo energético de equipos de laboratorio, Zona 7.

Se recomienda inspeccionar y evaluar de manera más acabada el funcionamiento de este equipo a fin de detectar oportunidades de mejora en la operación.

Iluminación

En tercer lugar se tiene el consumo energético en iluminación. Los datos presentados en el Gráfico 95 muestran un 11% del consumo debido al uso de equipos halógenos.

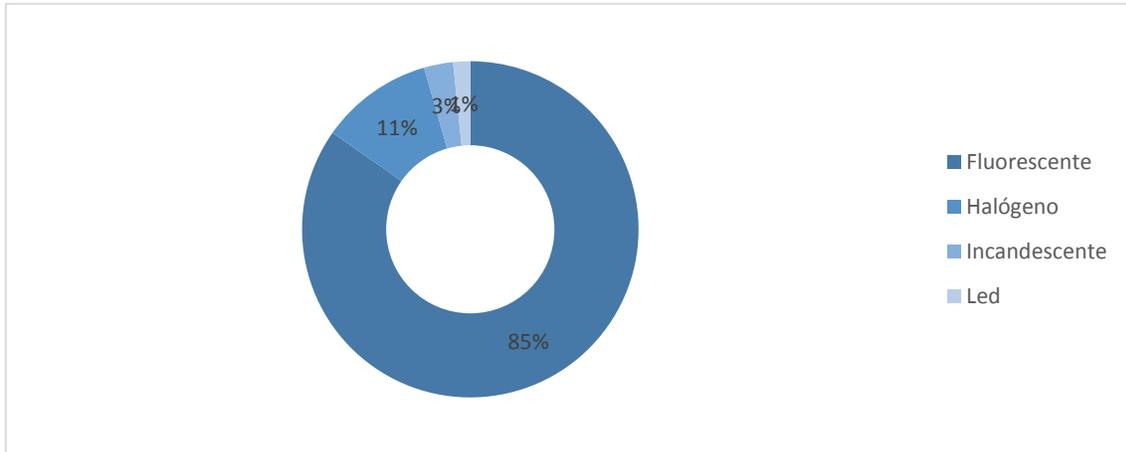


Gráfico 95 Consumo energético de luminarias, Zona 7.

Las luminarias halógenas poseen una baja eficiencia comparada con otras tecnologías (CFL, LED, otros). Se advierte una oportunidad de mejora en el reemplazo de estas luminarias.

Zona 8

La Zona 8 alberga al edificio más grande del campus y posee el mayor consumo energético alcanzando el 39% del total del campus. Los consumos más importantes en esta zona se deben al funcionamiento de equipos de climatización y computación, los que representan el 82% del consumo.

A continuación se presentan las oportunidades de mejora identificada en el sistema de climatización y sistema de computación.

Climatización

De acuerdo con la distribución del consumo energético por equipos de climatización presentada en el Gráfico 96, se advierte que el chiller y los equipos de refrigeración del centro de datos consumen casi la totalidad de la energía por este ítem.

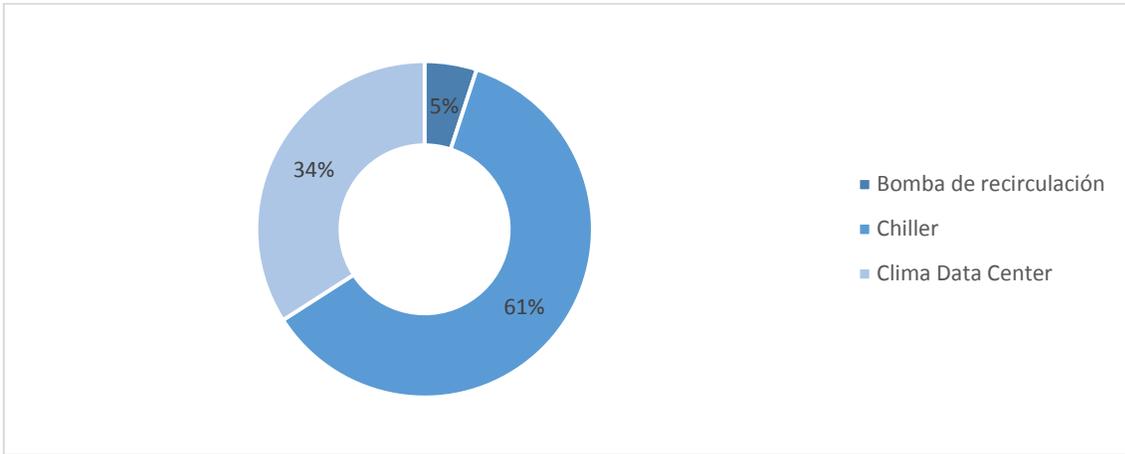


Gráfico 96 Consumo energético de equipos de climatización, Zona 8.

A continuación se presentan las oportunidades de mejora energética asociadas a estos equipos.

Chiller Confort

El sistema de climatización del edificio Blanco 2120 utiliza tres equipos Chiller distintos, los que operan bajo demanda de los usuarios del edificio. Estos equipos se encuentran en la azotea del edificio. El consumo de estos equipos alcanza el 29% del consumo total del edificio, lo que equivale al 11% del consumo total del Campus. Las características principales de cada equipo se presentan a continuación.

a. Equipo 1

Características	Valor
Tipo de equipo	Chiller enfriado por aire
Marca	Carrier
Modelo	30GTN100-920
Capacidad de Refrigeración (kW)	353,5
Potencia de alimentación (kW)	125
COP	2,82

Tabla 48 Características de Equipo 1 de climatización, Zona 8.



Ilustración 21 Fotografía de Equipo 1, Zona 8.

b. Equipo 2

Características	Valor
Tipo de equipo	Chiller enfriado por aire
Marca	McQuay
Modelo	McEnergy Evolution SE XXN 142.2
Capacidad de Refrigeración (kW)	492
Potencia de alimentación (kW)	187
COP	2,63

Tabla 49 Características de Equipo 2 de climatización, Zona 8.



Ilustración 22 Fotografía de Equipo 2, Zona 8.

c. Equipo 3

Características	Valor
Tipo de equipo	Chiller enfriado por aire
Marca	Aqualogic
Modelo	AQL 130
Capacidad de Refrigeración (kW)	131
Potencia de alimentación (kW)	47
COP	2,79

Tabla 50 Características de Equipo 3 de climatización, Zona 8.



Ilustración 23 Fotografía de Equipo 3, Zona 8.

De manera general, el desempeño energético de un equipo de refrigeración tipo chiller depende de los siguientes factores:

1. la temperatura media en el lugar de emplazamiento,
2. la tecnología del equipo,
3. el mantenimiento del equipo y
4. la operación del equipo.

Las líneas de acción de eficiencia energética abordan los tres últimos puntos. Los equipos nuevos son, en general, más eficientes incluyendo operación por *Free Cooling*, programable y control remoto, entre otros. En los equipos por compresión, como es el caso de los equipos utilizados en el Campus, una de las medidas de eficiencia más comunes corresponde a adaptar la velocidad del motor a través de un variador de frecuencia, lo que puede generar ahorros importantes en la operación del equipo. Por otro lado, los sistemas de almacenamiento térmico realizan una gestión eficiente del suministro cuando se tienen precios de electricidad diferenciados por horario. No obstante, la aplicación de estas medidas debe ser consultada y evaluada por un especialista.

Un buen mantenimiento del equipo resulta muy importante para prevenir y reparar ineficiencias en el consumo del equipo. Éste debe identificar y reducir las pérdidas de temperatura y calor que afectan al equipo. Para esto se recomienda realizar una mantención periódica que incluya, al menos, los siguientes puntos:

- 1- Mantener libre de hielo la superficie del evaporador.
- 2- Remover las obstrucciones en el intercambiador de calor.
- 3- Evitar la acumulación de aceite en los compresores.
- 4- Cambiar periódicamente el lubricante del compresor.
- 5- Detectar y reparar fugas de calor en el circuito.

Por último, los aspectos asociados a la operación tienen que ver con el tiempo y la temperatura de funcionamiento. Existen diversas estrategias para controlar estas variables: temporizadores, programación del encendido y apagado del equipo, programación de la temperatura de refrigeración, entre otros. De acuerdo a bibliografía se advierte un potencial de ahorro del 30% [32] por control automático de estos equipos.

Dado el impacto del consumo de estos equipos en el campus, se recomienda realizar un estudio más acabado del impacto de la operación sobre el consumo del equipo, que permita identificar oportunidades de mejora y determinar medidas de eficiencia energética.

Chiller Centro de Datos

Los equipos de refrigeración que sirven al centro de datos son tres y se ubican en la azotea del edificio Blanco 2120. Estos equipos fueron instalados el año 2012 y operan las 24 hrs del día, manteniendo una temperatura constante en el Centro de Datos. Las características principales de estos equipos se muestran en la Tabla 51.

Características	Valor
Tipo de equipo	Chiller enfriado por aire
Marca	STULZ
Modelo	CSO781A
Capacidad de Refrigeración (kW)	71,9
Potencia de alimentación (kW)	41
COP	1,75

Tabla 51 Características generales Chiller Centro de datos, Zona 8.



Ilustración 24 Fotografía Chiller Centro de datos, Zona 8.

En general, para evaluar el desempeño energético de un centro de datos se utiliza el indicador PUE (Power Usage Effectiveness) que relaciona el consumo energético de toda la infraestructura requerida por el centro de datos con el consumo energético de los equipos de TI.

$$PUE = \frac{\text{Consumo Total de Infraestructura}}{\text{Consumo Equipos TI}}$$

De acuerdo con la definición anterior, entre más pequeño es el PUE más eficiente es el desempeño energético del centro de datos. Un centro de datos eficiente posee un PUE menor o igual a 1,5 [35]. En el ámbito nacional, la empresa VTR ha emprendido medidas de eficiencia energética sobre sus equipos de climatización, logrando reducir el PUE hasta en 0,5 puntos [45].

La experiencia internacional muestra resultados favorables a la aplicación de medidas de eficiencia energética en centros de datos. A continuación se presentan algunas medidas

implementadas en centros de datos de compañías de comunicaciones europeas tomadas del informe del año 2012 de la *European Telecommunication Network Operators' Association* [35]:

- 1- Free cooling: presenta ahorros energéticos anuales de hasta un 40%.
- 2- Instalación de ventiladores eficientes: hasta un 40% de reducción del consumo anual de energía, con un período de recuperación del capital (PRI) de 2 años.
- 3- Instalación de unidades de cogeneración en data center y oficinas: hasta un 37% de reducción del consumo energético anual, con un PRI de 4 años.
- 4- Aumento de temperatura de trabajo: hasta un 20% de reducción del consumo anual de energía.
- 5- Cerramiento por pasillo caliente: hasta un 35% de reducción del consumo energético anual, con un PRI de 4 años.

Se advierte una oportunidad de mejora en el estudio e implementación de alguna medida de eficiencia sobre el consumo energético de los equipos de refrigeración del centro de datos.

Computación

El Gráfico 97 muestra que los consumos más importantes en este ítem corresponden al funcionamiento de servidores. Las acciones de eficiencia energética en este tipo de equipos se enfocan en la etapa de diseño.

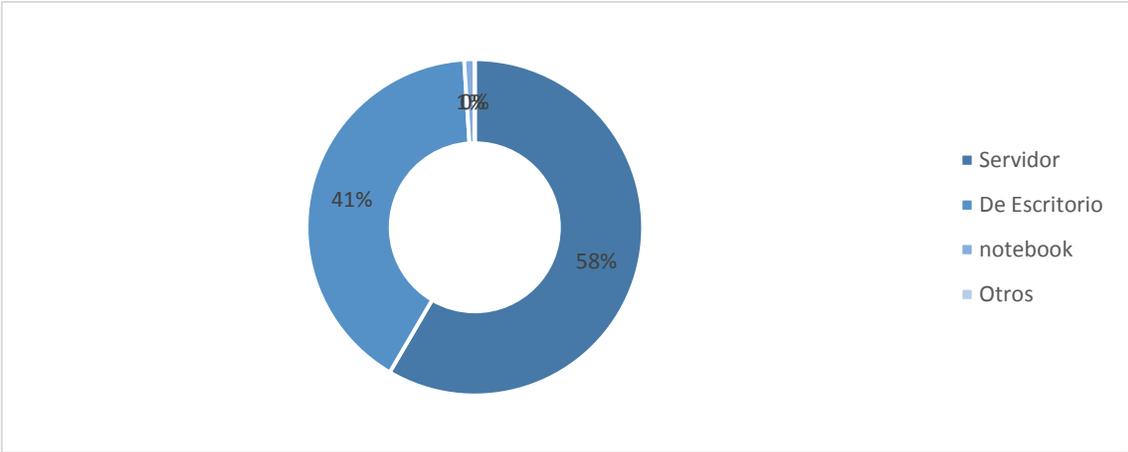


Gráfico 97 Consumo energético de equipos de computación en Zona 8.

En el Gráfico 98 se observa el uso energético y la cantidad de computadores de escritorio en la Zona 8. Se observa en el gráfico que el Centro de Computación (CEC) posee el mayor consumo energético por uso de estos equipos.

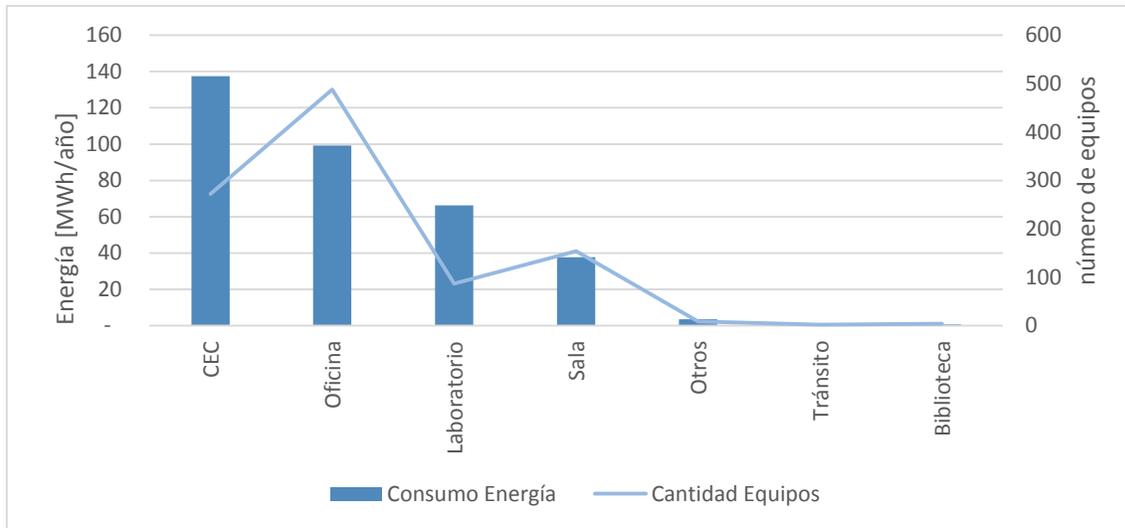


Gráfico 98 Consumo energético y cantidad de computadores de escritorio, Zona 8.

La mayor parte de los equipos del CEC está destinada al uso por parte de los estudiantes del Campus, debiendo funcionar de lunes a sábado durante todo el día. Se reconoce que existe un uso intensivo de estos equipos, por lo que se desestiman medidas de control horario. Se advierte una oportunidad de mejora en el cambio tecnológico de los equipos por otros más eficientes.

Se observa en el gráfico anterior que existe un gran número de equipos en oficinas, por lo que se advierte un mayor potencial de reducción del consumo por disminuir el tiempo de uso, a través de medidas que mejoren la utilización de los equipos.

Iluminación

En el gráfico inferior se presenta la distribución del consumo de iluminación por tipo de recinto en la Zona 8. Se observa que el mayor consumo se debe a la iluminación de salas de clase. Se advierte una oportunidad en la reducción de los tiempos de uso de las luminarias de las salas.

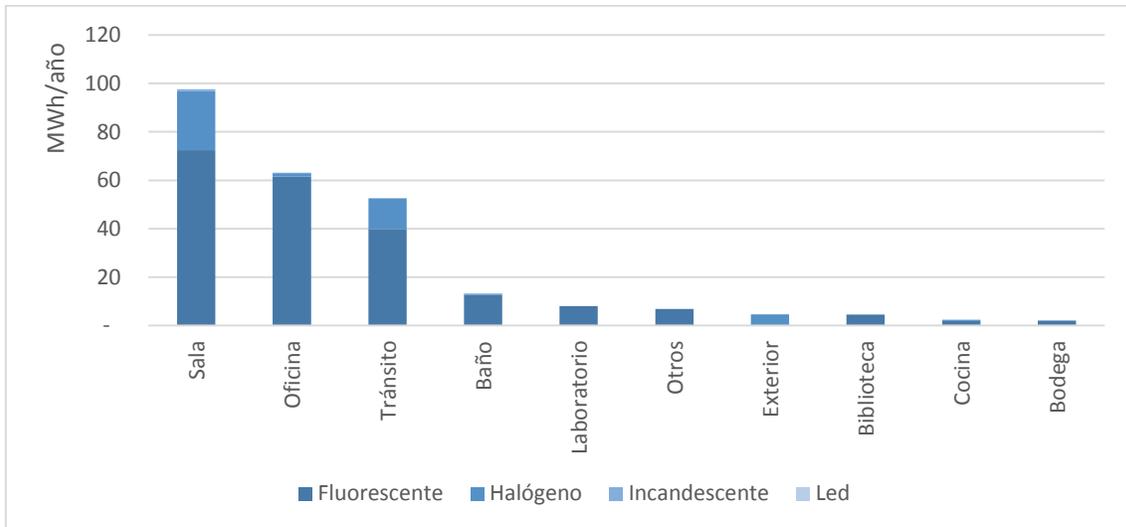


Ilustración 25 Consumo de iluminación por tipo de recinto en Zona 8.

Por otro lado, se cuenta una gran cantidad de equipos clasificados como halógenos, especialmente en salas de clase y zonas de tránsito. Se advierte una oportunidad de mejora en el reemplazo de las luminarias halógenas por otras tipo led o similares.

A6. Índices de desempeño Institucional

A continuación se presentan los índices de desempeño institucional correspondientes al Campus Sur y Campus Beauchef.

Campus Sur

La Tabla 52 presenta los datos históricos de los índices de desempeño institucional del Campus Sur.

Índice	Descripción	Año				
		2009	2010	2011	2012	2013
Estudiantes Nuevos	Pregrado	445	439	424	447	440
	Postrgrado	74	104	111	108	113
Titulados	Pregrado	306	267	295	258	335
	Postrgrado	39	61	45	58	90
Matrícula	Pregrado	2091	2011	1964	2084	2653
	Postrgrado	259	327	356	407	413
Personal	Académico	325	313	276	275	274
	Colaboración	395	378	379	377	384
Publicación		122	107	136	113	95
Proyecto		28	27	48	55	22

Tabla 52 Índices de desempeño institucional del Campus Sur.

Campus Beauchef

En la Tabla 53 se presentan el registro histórico de los índices de desempeño institucional del Campus Beauchef.

Índice	Descripción	Año				
		2009	2010	2011	2012	2013
Estudiante Pregrado	Nuevos	653	760	754	750	746
	Total	4.002	4.218	4.429	4.553	4.745
Estudiante Postgrado	Nuevo	326	437	427	402	448
	Total	789	925	1.013	1.050	1.127
	Egresado	243	273	235	267	317
Personal de Planta	Académico	435	423	423	420	425
	Personal Colaboración	1.173	1.206	1.445	1.660	1.622
Proyectos		35	43	39	51	66
Publicaciones		348	380	381	429	439

Tabla 53 Índices de desempeño institucional del Campus Beauchef.

A7. Modelo Grados-Día

La construcción de los modelos se realiza de igual forma para ambos campus. El modelo de consumo energético basado en los Grados-Día se establece a partir de la determinación de los coeficientes de ponderación de GDC y GDE y la adición de una o más constantes.

Los modelos alternativos propuestos corresponden a los siguientes:

- El Modelo 1 considera un consumo fijo durante todos los meses de los 5 años de evaluación.
- El Modelo 2 considera una constante para el mes de Febrero (constante de menor valor) y una constante para el resto del año durante los 5 años de evaluación.
- El modelo 3 no considera al mes de Febrero, y se ajustó una constante fija para los 5 años.

La tabla inferior resume los resultados de las distintas alternativas propuestas para el Campus Sur..

Ítem	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Cantidad Constantes	1	2	1
Coef. Correlación	0,63	0,85	0,70
Coef. Determinación	0,40	0,73	0,49
Error Mensual Promedio	7,4%	5,4%	5,0%
Coef. GDC	193	250	214
Coef. GDR	20	150	130
Constantes	198.171	190.000 ; 150.000	193.555

Tabla 54 Comparación modelos de suministro eléctrico del Campus Sur en utilizando los Grados Día.

La Tabla 55 presenta la evaluación de las alternativas consideradas para el Campus Beauchef.

Ítem	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Cantidad de Constantes	1	2	1
Coef. Correlación	0,65	0,81	0,64
Coef. Determinación	0,42	0,65	0,41
Error Mensual Promedio	7%	5%	5%
Coef. GDC	377	336	314
Coef. GDR	0	124	54
Constantes	464.346	474.049 ; 368.454	479.608

Tabla 55 Comparación modelos de suministro eléctrico en utilizando los Grados Día.

Se puede observar, en ambos casos, que el modelo que presenta un mayor coeficiente de determinación corresponde al Modelo 2.

A8. Modelo de consumo energético

De acuerdo con el análisis anterior, el consumo energético se puede modelar como dos componentes: una componente que varía mensualmente de acuerdo a los grados día, y otra componente independiente de la temperatura ambiente que varía anualmente.

La metodología aplicada en la construcción del modelo se presenta a continuación:

- 1- Determinar un modelo mensual base como punto de partida.
- 2- Determinación de coeficientes de variación anual del consumo, que ajusten la serie constante.
- 3- Identificación de un factor interno correlacionado con los coeficientes de variación anual determinados anteriormente.
- 4- Determinación de nuevas constantes, utilizando el factor interno como ponderador anual.

De acuerdo al desempeño de los modelos mensuales presentados en el punto anterior, se tomará para ambos campus el Modelo 2 como punto de partida.

A partir de este modelo se busca maximizar el coeficiente de determinación ponderando las constantes mensuales por un coeficiente que represente la variación anual del consumo. Dado lo anterior, la expresión que incorpora los coeficientes de variación anual corresponde a la siguiente.

$$\hat{E}_{i,j} = \alpha_{GDC} \cdot GDC_{i,j} + \alpha_{GDR} \cdot GDR_{i,j} + \beta_j \cdot Cte_i$$

Donde

- $\hat{E}_{i,j}$ corresponde al consumo energético simulado para el mes i y año j .
- $GDC_{i,j}, GDR_{i,j}$ corresponden a los Grados-Día de calefacción y refrigeración para el mes i y año j , respectivamente.
- $\alpha_{GDC}, \alpha_{GDR}$ corresponden a los coeficientes de ajuste de GDC y GDR respectivamente.
- Cte_i corresponde a la constante mensual, que toma un valor distinto para Febrero y para el resto del año.
- β_j corresponde a los coeficientes de variación anual buscados, para los años 2010 a 2013.

Utilizando la expresión anterior para simular el consumo energético y los ponderadores iniciales $\beta_j = 1 \forall i \in [2010,2013]$, se resuelve el siguiente problema de optimización

$$\begin{aligned} \max_{s.a.} R^2 &= \frac{\sigma_{\hat{E}E}^2}{\sigma_{\hat{E}}^2 \cdot \sigma_E^2} \\ EMP_N &= \frac{\sum_{k=1}^N \left| \left(\frac{\hat{E}_k}{E_k} - 1 \right) \cdot 100 \right|}{N} \leq 5\% \\ \{\alpha_{GDC}, \alpha_{GDR}\} &\geq 0 \\ \{\beta_{2010}, \beta_{2011}, \beta_{2012}, \beta_{2013}\} &\geq 0 \end{aligned}$$

Donde

- R^2 corresponde al coeficiente de determinación entre el consumo de electricidad facturado, E , y el simulado, \hat{E} .
- $\sigma_{\hat{E}E}^2$ corresponde a la covarianza al cuadrado entre el consumo de electricidad facturado, E , y el simulado, \hat{E} .
- $\sigma_{\hat{E}}^2, \sigma_E^2$ corresponden a las varianzas del consumo energético simulado y facturado respectivamente.
- EMP_N corresponde al error mensual promedio de estimación considerando N meses.
- E_k corresponde al consumo de energía eléctrica facturado en el mes k.
- \hat{E}_k corresponde al suministro de energía eléctrica simulado para el mes k utilizando la expresión del Modelo 2.

Trabajando con la herramienta Solver de Excel, se resuelve el problema de optimización planteado y se determinaron los coeficientes de variación anual mostrados en la tabla inferior. Estos coeficientes permitieron incrementaron el coeficiente de determinación del Modelo 2 de 0,72 a 0,88 el caso de Campus Sur, y de 0,65 a 0,77 en el caso de Campus Beauchef.

Año	2009	2010	2011	2012	2013
Campus Sur	-	0,89	0,94	0,97	1,01
Campus Beauchef	0,98	1,00	1,02	1,05	1,10

Tabla 56 Coeficientes de variación anual de las constantes calculados.

Luego se identifica la variable anual mejor correlacionada con estos coeficientes de variación, la que corresponde al Matrícula de Postgrado, en Campus Sur, y Matrícula de

Pregrado, en Campus Beauchef. Esta variable se introduce en el modelo inicial, reemplazando a los coeficientes anteriores, y se repite la estrategia del paso 2 para obtener los nuevos ponderadores de GDC y GDR, y las nuevas constantes mensuales.

Finalmente, el modelo de consumo definitivo para el Campus Sur se describe por la siguiente expresión

$$E_{i,j} = 219 \cdot GDC_{i,j} + 72 \cdot GDR_{i,j} + Cte_i \cdot M_j$$

Donde

$E_{i,j}$ corresponde al suministro de energía eléctrica para el mes i , año j .

$GDC_{i,j}$ y $GDR_{i,j}$ corresponden a grados-día de calefacción y refrigeración para el mes i , año j .

M_j corresponde a la matrícula de alumnos de postgrado para el año j .

Cte_{mes} corresponde a la constante de suministro mensual independiente de la temperatura, tal que

$$Cte_{mes} = \begin{cases} 378 & \text{si } i = 2 \quad (\text{Febrero}) \\ 538 & \text{si } i \neq 2 \quad (\text{Resto del año}) \end{cases}$$

Este modelo alcanza un coeficiente de determinación igual a 0,79 y un error promedio mensual del 5%. El Gráfico 99 compara las curvas de suministro real con el suministro simulado por el modelo.

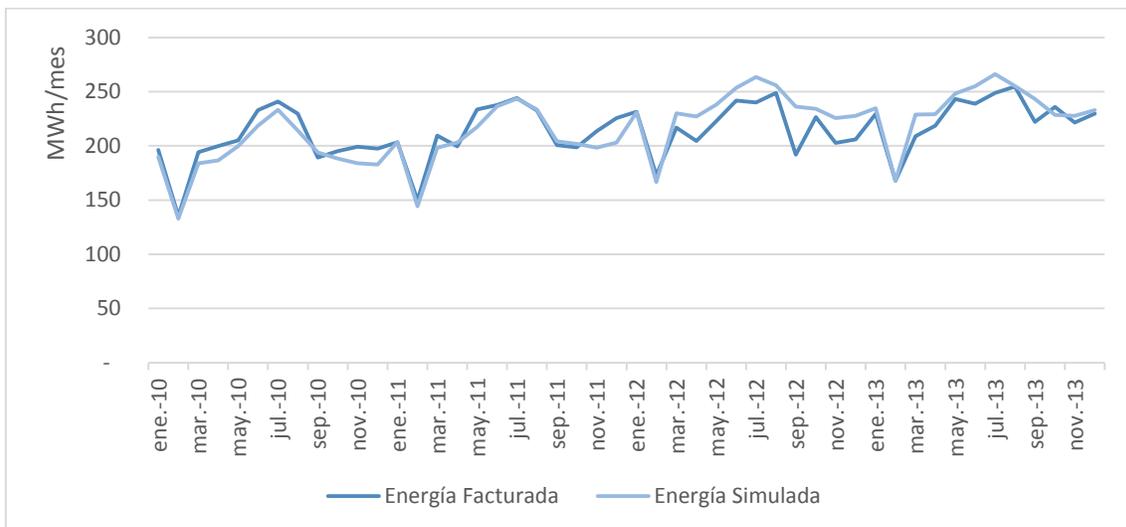


Gráfico 99 Comparación del modelo de suministro con el suministro de electricidad real.

El modelo de consumo energético del Campus Beauchef se describe por la siguiente expresión

$$E_{i,j} = 495 \cdot GDC_{i,j} + 72 \cdot GDR_{i,j} + Cte_i \cdot M_j$$

Donde

$E_{i,j}$ corresponde al suministro de energía eléctrica para el mes i , año j .

$GDC_{i,j}$ y $GDR_{i,j}$ corresponden a los grados-día de calefacción y refrigeración para el mes i , año j .

M_j corresponde a la matrícula de alumnos de pregrado para el año j .

Cte_{mes} corresponde a la constante de suministro mensual independiente de la temperatura, tal que

$$Cte_{mes} = \begin{cases} 78 & \text{si } i = 2 \quad (\text{Febrero}) \\ 106 & \text{si } i \neq 2 \quad (\text{Resto del año}) \end{cases}$$

Este modelo alcanza un coeficiente de determinación igual a 0,76 y un error promedio mensual del 5%. El gráfico inferior presenta las curvas correspondiente la energía mensual suministrada y simulada por el modelo.

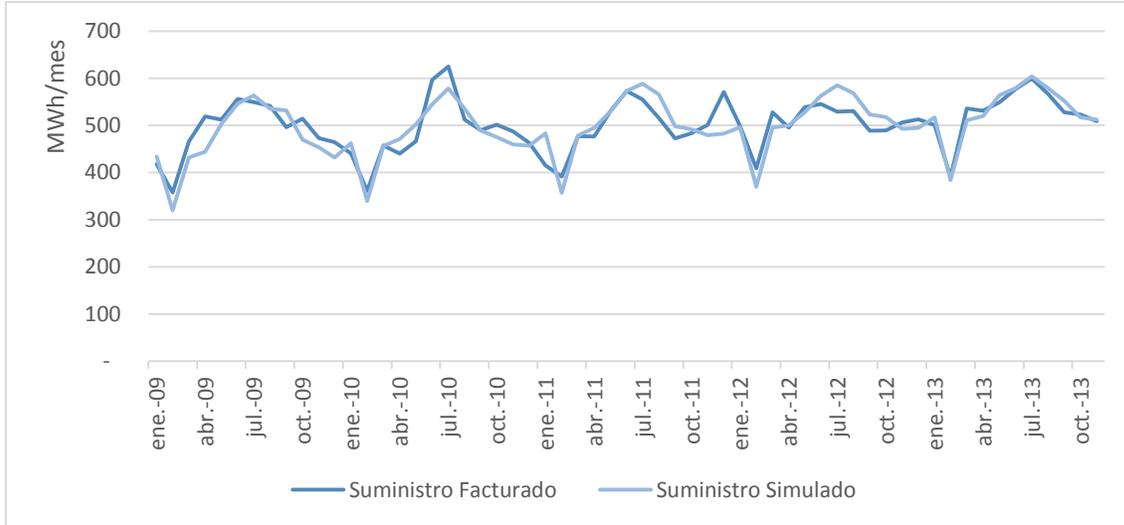


Gráfico 100 Energía suministrada y energía simulada por el modelo.

A9. Cálculo de Evaluación Económica de Propuestas

Los cálculos realizados para la evaluación económica de las medidas propuestas, tanto para el Campus Sur como para el Campus Beauchef, se encuentran en el archivo excel adjunto.