



ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Diagnóstico energético de los sistemas de Aire Acondicionado e Iluminación en los edificios administrativos de P&G para la mejora de la gestión BMS por la empresa ControlSoft



Informe de Práctica de Especialidad para optar por el título de Ingeniero en Mantenimiento Industrial, grado Licenciatura

Alfredo Alfaro Haro

Cartago, Costa Rica, Noviembre 2017



engineerscanada

Escuela Acreditada por el
Canadian Engineering Accreditation Board (CEAB)

I. Información general del estudiante, proyecto y empresa

• Estudiante

Nombre completo: Alfredo Alejandro Alfaro Haro

Número de cédula: 8 01190414

Número de carné: 201233480

Números de teléfono: 86291729

Correo electrónico: alfredo.alfaro.haro@gmail.com

Residencia en tiempo lectivo: La cabaña, San Francisco de Dos Ríos. San José

Residencia en tiempo no lectivo: Aguas Zarcas, San Carlos, Alajuela.

• Proyecto

Nombre del proyecto: Diagnóstico energético de los sistemas de aire acondicionado e iluminación en los edificios administrativos de P&G para la mejora de la gestión BMS por la empresa ControlSoft.

Profesor asesor: Ing. Ignacio Del Valle Granados

Asesor industrial: Ing. Juan Carlos Delgado

Horario de trabajo: Lunes a viernes 8:00am a 4:00pm

• Empresa

Nombre: ControlSoft Systems

Ubicación: Condominio comercial Santa Rosa, Ofibodega #33, Santa Rosa, Heredia

Teléfono: 2244 9643

Actividad principal: Automatización industrial

Dedicatoria

A mis padres Alfredo Alfaro Ramos y Amelia Haro Asmat.

A toda mi familia

A Paulina Villalobos

Agradecimientos

Extiendo un profundo agradecimiento a la Escuela de Ingeniería Electromecánica y sus profesores por brindarme una formación de calidad en esta etapa universitaria, al Ing. Ignacio del Valle Granados por los conocimientos y dirección brindada como profesor guía en el presente proyecto.

A mi familia y amigos por los momentos compartidos y el soporte incondicional en todo este proceso de formación.

Al Ing. César Barquero por brindarme la oportunidad de desarrollar mis habilidades en la empresa ControlSoft, al Ing. Juan Carlos Delgado por la guía brindada como asesor industrial, así como todas las personas que con las que compartí en esta empresa.

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria	3
Agradecimientos	4
Resumen.....	16
Abstract.....	18
1. CAPÍTULO I.....	20
1.1 Introducción	20
1.2 Reseña de la Empresa.....	21
1.3 Misión:.....	21
1.4 Visión:	21
1.5 Descripción del proceso productivo	22
1.6 Planteamiento del problema	23
1.6.1 Justificación del proyecto.	23
1.6.2 Descripción del problema.	24
1.7 Objetivos del proyecto.....	25
1.7.1 Objetivo general.	25
1.7.2 Objetivos Específicos.	25
1.8 Viabilidad.	26
1.9 Metodología.	26
1.10 Alcance y limitaciones.	27
CAPÍTULO II.....	29
2.1 Marco teórico.	29
2.2 Desempeño energético.....	30
2.3 Sistema de gestión de edificios (BMS).....	31

2.4	Monitoreo energético.	32
2.4.1	Términos eléctricos.	33
2.5	Planificación energética (Según Norma ISO: 500001).....	36
2.5.1	Revisión energética.	37
2.5.2	Línea base energética.	39
2.6	Auditoría energética.	39
2.7	Marco Legal en Costa Rica.	40
2.8	Climatización de un recinto.	41
2.8.1	Calidad de aire en edificios.	41
2.8.2	Carga térmica.	41
2.8.3	Condiciones del aire de suministro.	48
2.9	Carta psicrométrica.	48
2.10	Sistema de agua helada.	49
2.10.1	Planta de agua helada con condensadores enfriadores por aire.	50
2.10.2	Planta de agua helada con condensadores enfriados por agua.	50
2.10.3	Unidades terminales de ventilador y serpentín (Fan coil).....	51
2.11	Refrigerantes.	52
2.11.1	Refrigerantes cloro-fluorocarbonados (CFCs).....	52
2.11.2	Refrigerantes Hidroclorofluorocarbonados (HCFCs).....	53
2.11.3	Refrigerantes Hidrofluorocarbonados (HFCs)	53
2.12	Protocolos ambientales.	53
2.12.1	Protocolo de Montreal.	53
2.12.2	Protocolo de Kioto.	54
2.13	Eficiencia energética en sistemas de refrigeración por compresión.	55

2.14	Conceptos de Iluminación.....	56
CAPÍTULO III. DESARROLLO DEL PROYECTO.....		58
DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO EN EDIFICIOS DE OFICINAS.....		58
3.1	Caso en estudio.	58
3.1.1	Descripción de las operaciones de P&G en Costa Rica.....	58
3.1.2	Ubicación de las instalaciones de P&G.	58
3.1.3	Descripción general de los edificios de Procter & Gamble.	58
3.1.4	Datos climáticos de la ubicación.....	60
3.1.5	Unidad de análisis del proyecto.....	60
3.1.6	Beneficiarios del proyecto.	61
3.2	Gestión del sistema de Aire Acondicionado por parte de ControlSoft.....	62
3.2.1	Control automatizado del aire acondicionado.....	62
3.2.2	Controladores PID en funcionamiento.....	63
3.3	Modelo metodológico genérico.	66
3.4	Revisión energética inicial.....	67
3.4.1	Análisis de fuentes y consumos de la energía.	67
3.4.2	Identificación y análisis de áreas de consumo significativo.	84
3.5	Diagnóstico energético del sistema de climatización artificial.	87
3.5.1	Conocimiento del sistema de climatización.	87
3.5.2	Perfil energético de las plantas de agua helada.	92
3.5.3	Cálculo de la carga de enfriamiento o carga térmica.....	102
3.5.4	Cálculo de la carga de refrigeración.....	117
3.5.5	Análisis de la carga de enfriamiento instalada.	119
3.5.6	Análisis comparativos de las cargas de enfriamiento.	124

3.5.7	Propuestas de mejora del sistema de climatización.....	131
3.6	Diagnóstico energético al sistema de iluminación.....	155
3.6.1	Propuesta genérica de análisis.....	155
3.6.2	Estrategias de control de iluminación.....	158
3.6.3	Caso en estudio.....	160
3.7	Resumen de las propuestas de conservación de energía.	168
2.14.1	Propuestas de la revisión energética inicial:	168
2.14.2	Propuestas al sistema de climatización artificial:	168
2.14.3	Propuestas al sistema de iluminación.	171
3.8	Indicadores	172
4	Conclusiones.	176
5	Recomendaciones.	177
3	Bibliografía	178
Apéndices		180
Apéndice 1. Recintos climatizados.		180
Apéndice 3. Capacidad y cantidad de difusores de las unidades fan coil por piso.		185
Apéndice 4. Distribución de los recintos por máquina.		188
Apéndice 5. Carga de enfriamiento suministrada por recinto y el indicador BTU/hxft ² para los pisos 2 y 3.....		191
Apéndice 6. Condiciones de CFM para el aire de suministro.		193
Apéndice 7. Comparación energética en BTU/h xft ² con indicador de referencia.		195
Apéndice 8. Resultados de carga térmica para los pisos 2 y 3.		198
Apéndice 9. Datos del motor de las unidades fan coil, y su horario de arranque.		203

Apéndice 9. Comportamiento de la demanda de los consumidores significativos.	204
Apéndice 10. Capacidades de enfriamiento de las unidades fan coil.....	205
Apéndice 11. Demanda máxima de las divisiones consumidoras.	206
Apéndice 12. Caso práctico de un estudio energético en iluminación a partir de una hoja electrónica programada por el realizador del proyecto. Aplicación: Piso 9, edificio Escazú Corporate Center.....	208
Apéndice 13. Comparación energética por recinto.....	215
Anexos	220
Anexo 1. Coeficiente general de transferencia de calor: Paredes	220
Anexo 2. Coeficiente general de transferencia de calor: Techo	221
Anexo 2. Diferencias de temperatura para cargas de enfriamiento (DTCE).....	222
Anexo 3. Corrección de DTCE por latitud y mes.	223
Anexo 4. Factor de ganancia máxima de calor para vidrios (FGCS).....	224
Anexo 5. Factor de sombreado para vidrios.....	225
Anexo 6. Factor de carga de enfriamiento para vidrios (FCE).....	226
Anexo 7. Tasa de ganancia de calor según actividad de ocupantes.	226
Anexo 8. Ganancia de calor por equipos.....	227
Anexo 8. Curva características de las bombas de la planta de agua helada.	228
Anexo 9. Comportamiento del chiller enfriado por agua según porcentaje de carga.	229
Anexo 10. Hoja electrónica programada para la generación de informes de ahorro energético para proyectos en iluminación.	230
Anexo 11. Corriente de arranque de los motores de las unidades fan coil.....	231

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Codificación de los edificios de P&G y sus respectivos pisos.	59
Tabla 2. Consumo de energía del edificio B por división consumidora en un período de cinco meses.	69
Tabla 3. Horarios designados a los periodos de cobro en la tarifa Media Tensión. ...	72
Tabla 4. Horarios programados para los equipos de climatización	74
Tabla 5. Estudio de valores atípicos de la potencia activa registrada en los pisos del edificio B a las 18:00 horas.	79
Tabla 6. Determinación de la demanda de potencia activa en iluminación para cada piso.	80
Tabla 7. Determinación de la potencia demandada promedio de los elementos consumidores de los pisos B1-B4	80
Tabla 8. Distribución del cobro del edificio B.....	86
Tabla 9. Inventario de los equipos fan coil y sus capacidades.....	89
Tabla 10. Datos técnicos del chiller en condiciones estándar según ARI*	90
Tabla 11. Datos de placa de las bombas.	91
Tabla 12. Datos capacidad, potencia total consumida y eficiencia de los chillers para condiciones ambientales reales.	93
Tabla 13. Consumo base (teórico) de potencia activa de los chillers.....	93
Tabla 14. Condiciones exteriores críticas.	104
Tabla 15. Condiciones internas del recinto.	104
Tabla 16. Coeficiente de transferencia de calor para los materiales de techos y paredes.	105
Tabla 17. Coeficiente de transferencia de calor para los materiales de ventanas. ...	106
Tabla 18. Valores de DTCE y LM para cálculo de DTCE _e	106
Tabla 19. Valor de K, f, temperaturas interna y externa.	107
Tabla 20. Valor de FGCS, CS y FCE para las ventanas del edificio.	108
Tabla 21. Valores para la ganancia de calor por alumbrado.	109
Tabla 22. Calor sensible y latente para la actividad realizada por los ocupantes. ...	109
Tabla 23. Cargas enfriamiento totales de los recintos.	111

Tabla 24. Resultados de la carga de refrigeración.....	118
Tabla 25. Capacidad y cantidad de difusores de las máquinas fan coil del piso B1.	120
Tabla 26. CFM, carga de enfriamiento suministrada, e indicador de los recintos del piso 1.	121
Tabla 27. CFM, carga de enfriamiento suministrada e indicador de los recintos del piso 4.	123
Tabla 28. Requerimientos de CFM según análisis psicrométrico para los recintos de B1.....	125
Tabla 29. Requerimientos de CFM según análisis psicrométrico para los recintos de B2.	126
Tabla 30. Análisis de la eficiencia del sistema actual mediante el indicador kW/Ton para distintos porcentajes de carga.....	142
Tabla 31. Análisis de la eficiencia del sistema propuesto mediante el indicador kW/Ton para distintos porcentajes de carga.	144
Tabla 32. Ahorro porcentual en términos del indicador kW/Ton.....	147
Tabla 33. Ahorro en términos energéticos y financieros	148
Tabla 34. Estimación de reducción de emisiones de CO ₂ para propuesta cambio de sistema de enfriamiento.	149
Tabla 35. Carga térmica requerida para un día de operación.	152
Tabla 36. Carga térmica por período horario.	153
Tabla 37. Densidad de potencia instalada en los pisos del edificio B.	161
Tabla 38. Resultados obtenidos de la simulación.	165
Tabla 39. Consumos actuales de las luminarias instaladas.	166
Tabla 40. Consumos actuales por recintos en análisis.	166
Tabla 41. Ahorro total por piso al aplicar la estrategia de control.....	167
Tabla 42. Estimación de reducción de emisiones de CO ₂ para propuesta en sistema de iluminación.	167
Tabla 43. Parámetros reducidos al aplicar la propuesta de climatización.....	170
Tabla 44. Parámetros reducidos al aplicar la propuesta de iluminación.	171
Tabla 45. Indicadores de gestión energética, nivel 1.	172

Tabla 46. Indicadores de gestión energética, nivel 2.	173
Tabla 47. Indicadores de gestión energética, nivel 3.	174
Tabla 48. Indicadores de gestión energética, nivel 4.	174
Tabla 49. Comparación de indicadores actuales y meta.....	175

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Descripción del proceso productivo de la empresa ControlSoft.....	22
Figura 2. Concepto del ahorro energético basado en sistemas activos y pasivos.	30
Figura 3. Representación de una gestión BMS.....	32
Figura 4. Diagrama conceptual del proceso de planificación energética.	36
Figura 5. Esquema del proceso de revisión energética en una organización.	37
Figura 6. Diferencia entra la ganancia instantánea de calor y la carga de enfriamiento.	42
Figura 7. Carta psicrométrica.....	49
Figura 8. Unidad de ventilador y serpentín.	51
Figura 9. Edificios de P&G	59
Figura 10. Resumen de datos climáticos promedio de 1996 al 2014.....	60
Figura 11. Programación de controlador PID para salas cerradas. (1)	64
Figura 12. Programación del controlador PID para salas cerradas (2).	64
Figura 13. Modelo metodológico de un diagnóstico de edificios de oficinas.	66
Figura 14. Tarifa de la categoría Media Tensión de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz.	83
Figura 15. Vista frontal y lateral de las máquinas fan coil instaladas según ficha técnica.	88
Figura 16. Plantas de agua helada enfriada por aire instalada	90
Figura 17. Alternativas de conversión para el R-22	139
Figura 18. Temperatura de suministro necesaria para generar hielo según horas de carga.	151
Figura 19. Nivel de luminosidad (Lux) en el plano de trabajo del piso 1.	162
Figura 20. Nivel de luminosidad (Lux) en el plano de trabajo del piso 2 y 3.	163

Figura 21. Nivel de luminosidad (Lux) en el plano de trabajo del piso 4.	164
Figura 22. Renderización de las salas de cubículos (sin luminarias).	164

ÍNDICE DE GRÁFICOS.

Gráfico 1. Perfil energético del edificio B en un período de ocho meses.	70
Gráfico 2. Consumo segmentado de energía del edificio B en un período de 8 meses.	71
Gráfico 3. Demanda máxima registrada según período de cobro del edificio B.....	73
Gráfico 4. Demanda máxima mensual segmentada del edificio B en período Punta.	75
Gráfico 5. Demanda máxima mensual segmentada del edificio B en período Valle. .	76
Gráfico 6. Demanda máxima mensual segmentada del edificio B en período Nocturno.	77
Gráfico 7. Distribución de la potencia activa promedio de los pisos del edificio.....	81
Gráfico 8. Distribución del consumo energético promedio en un período mensual....	82
Gráfico 9. Costo estimado de operación en energía y demanda del edificio B con cargas institucionales.....	83
Gráfico 10. Diagrama de Pareto para la identificación de los consumidores significativos.....	85
Gráfico 11. Promedio de potencia activa registrado en un día de operación de las plantas de agua helada para el mes de abril.....	94
Gráfico 12. Desviación estándar (S) del promedio de la potencia activa registrada para abril.	95
Gráfico 13. Potencia activa registrado para un día de operación de las plantas de agua helada del mes de Julio.	96
Gráfico 14. Desviación estándar (S) de la potencia activa registrada para el mes de julio.....	97
Gráfico 15. Potencia activa promedio del 10 al 14 de Agosto.	98
Gráfico 16. Potencia activa promedio del 17 al 21 de Agosto.	98
Gráfico 17. Potencia activa promedio del 24 al 28 de Agosto.	99

Gráfico 18. Factor de potencia promedio registrado para una jornada en los meses de análisis.....	100
Gráfico 19. KVAr requeridos para un factor de potencia del 90% en las plantas de agua helada.	101
Gráfico 20. Promedio de datos climáticos desde 1996 hasta 2014.....	103
Gráfico 21. Distribución porcentual de la carga térmica del piso B1.	112
Gráfico 22. Distribución de cargas térmicas en BTU/h para el piso B1.....	113
Gráfico 23. Ganancias de calor total por recinto del piso B1, en BTU/h	114
Gráfico 24. Distribución porcentual de la carga térmica del piso B4.	115
Gráfico 25. Distribución de las ganancias de calor en BTU/h del piso B4.....	116
Gráfico 26. Ganancias de calor total por recinto del piso B4, en BTU/h	117
Gráfico 27. Comparación energética de la carga de enfriamiento instalado y la carga térmica calculada de los recintos del piso 1.	127
Gráfico 28. Comparación energética de la carga de enfriamiento instalado y la carga térmica calculada de los recintos del piso 2.	128
Gráfico 29. Comparación energética de la carga de enfriamiento instalado y la carga térmica calculada de los recintos del piso 3.	129
Gráfico 30. Comparación energética de la carga de enfriamiento instalado y la carga térmica calculada de los recintos del piso 4.	129
Gráfico 31. Potencia activa promedio en una jornada laboral de Agosto.....	132
Gráfico 32. Desviación estándar de la potencia activa promedio para Agosto.	132
Gráfico 33. Representación acumulada de la demanda para chillers y pisos 1 al 4, 11/08/17	133
Gráfico 34. Representación acumulada de la demanda para chillers y pisos 1 al 4, 20/08/17	134
Gráfico 35. Perfil de demanda del edificio.....	134
Gráfico 36. Distribución actual de las unidades fan coil.	136
Gráfico 37. Propuesta secuencial de arranque de unidades fan coil.	137
Gráfico 38. kW/Ton vs porcentaje de carga del sistema de climatización actual.	143
Gráfico 39. kW/Ton vs porcentaje de carga para el sistema propuesto.	145

Gráfico 40. kW/Ton vs temperatura entrada al condensador.....	146
Gráfico 41. SEER vs Temperatura entrada al condensador.	146
Gráfico 42. Demanda del sistema de climatización para un día de operación.	150
Gráfico 43. Carga térmica necesaria en un día de operación del edificio B.	153

ÍNDICE DE ECUACIONES.

Ecuación 2. Conducción a través de la estructura exterior.	43
Ecuación 3. Diferencial de conducción corregido para paredes y techos.	44
Ecuación 4. Conducción a través de la estructura exterior.	44
Ecuación 5. Radiación solar a través de vidrios.....	45
Ecuación 6. Ganancia de calor debido por iluminación.....	45
Ecuación 7. Ganancia de calor total por ocupantes.....	46
Ecuación 8. CFM para el aire de suministro.	48
Ecuación 9. Cálculo de kVA _r requeridos para un factor de potencia deseado.....	101
Ecuación 10. Determinación del cobro por factor de potencia para CNFL.....	102

Resumen

Un sistema de gestión de edificios (BMS) está relacionado de manera directa a la automatización de sistemas mediante protocolos de comunicación. Desde el punto de vista del desempeño energético, el resultado es una optimización del uso y consumo de energía para alcanzar la eficiencia energética de un sistema. Dentro de una gestión energética responsable, es necesaria una herramienta de diagnóstico energético que permita el estudio detallado de estos sistemas de consumo significativo, en la búsqueda oportunidades de conservación de la energía, el establecimiento de una línea base energética, y la generación de indicadores energéticos de gestión, antes y después de un proceso de automatización.

Este proyecto brinda esa herramienta, basado en el estudio de los sistemas de consumo significativo en edificios de oficinas administrativas: climatización e iluminación, desde el punto de vista del desempeño energético tomando en consideración aspectos ambientales (Protocolo de Montreal y Kioto) y políticas de sustentabilidad de la organización.

Como parte del modelo de diagnóstico, se realizó una revisión inicial o auditoría de primer nivel, a partir de un sistema de monitoreo energético por ControlSoft, se determinó las divisiones para el análisis de los consumos energéticos históricos, tanto a nivel individual como el total del edificio, desde el punto de vista de consumo energético, demanda máxima y las variables que intervienen. Se analizó los perfiles energéticos de estas divisiones y se realizó recorridos por las instalaciones para una inspección visual. Se aplicó el principio de Pareto para la identificación de las divisiones de consumo significativo, resultados para información de la organización y como base para los futuros diagnósticos energéticos. El resultado indicó el diagnóstico energético en detalle de los sistemas en estudio.

Se realizó el cálculo de la carga térmica por cada uno de los recintos del edificio, según los métodos propuestos por ASHRAE, con lo que se determinó que la carga térmica total del edificio es de 133TR [467,74 kW] con un factor de diversidad del 90%. Se analizó la carga de enfriamiento instalada por recinto, basado en planos actualizados

y recorrido en instalaciones. Se comparó la carga de enfriamiento instalada con la carga térmica calculada en BTU/h, en cada recinto climatizado.

Se estableció una metodología genérica para un análisis de eficiencia energética pasiva y activa, debido a un cambio de luminarias y un control de iluminación, la obtención de resultados es facilitada por una hoja electrónica programada. Se aplicó esta metodología de diagnóstico al caso en estudio.

Se determinó propuestas de ahorro de ahorro energético aplicables al sistema de climatización debido a la alternativa de un sistema enfriado por agua, con una reducción del indicador kW/TR en un 33% respecto al sistema actual y reducción del 100% del índice Potencial de Agotamiento del Ozono (PAO), una reducción de 269 880 kWh/año, una eventual reducción de 186TonCO₂/año y un ahorro asociado cerca de ₡10.549.000/año en energía y demanda.

Se disminuyó un 20% respecto a la demanda máxima en el arranque de unidades de ventilador y serpentín. Se realizó un análisis preliminar para la evaluación de la factibilidad de una propuesta de banco de hielo. Se determinó estrategias de control de iluminación aplicables dadas las condiciones reales de las instalaciones, se logra una eventual disminución del 30% en energía y del 20% en demanda a la potencia instalada en iluminación, debido a un aprovechamiento de luz natural, además de un 10% en energía debido recortes de potencia nominal en periodos estratégicos. Con una reducción de 22 856 kWh/año, una eventual reducción de 16 TonCO₂/año, y un ahorro asociado cerca de ₡1.571.951/año.

Como resultado general, se estableció que el modelo metodológico es replicable en otros edificios de oficinas, del cual se obtienen indicadores de gestión energética establecidos en 4 niveles (por área, por aplicación, eficiencia energética, emisiones CO₂) para la implementación en el programa de energía respectivo del edificio, y el Benchmarking. Así mismo se creó herramientas que faciliten los diagnósticos energéticos en los sistemas propuestos.

Palabras claves: Diagnóstico energético de edificios, monitoreo energético, ahorro energético, Aire acondicionado, estrategias de iluminación, eficiencia energética, indicadores energéticos.

Abstract.

A building management system (BMS) is directly related to the automation of systems through communication protocols. From the point of view of energy performance, the result is an optimization of the use and consumption of energy to achieve the energy efficiency of a system. Within a responsible energy management, it is necessary an energy diagnostic tool that allows the detailed study of these systems of significant consumption, in the search for opportunities for energy conservation, the establishment of an energy baseline, and the generation of energy indicators of management, before and after an automation process.

This project provides this tool, based on the study of systems of significant consumption in administrative office buildings: air conditioning and lighting, from the point of view of energy performance taking into account environmental aspects (Montreal Protocol and Kyoto) and sustainability policies of the organization.

As part of the diagnostic model, an initial review or first-level audit was carried out, based on an energy monitoring system by ControlSoft. Divisions were determined for the analysis of historical energy consumption, both individually and in total. building, from the point of view of energy consumption, maximum demand and the variables involved. The energy profiles of these divisions were analyzed and visits were made to the facilities for a visual inspection. The Pareto principle was applied to identify divisions of significant consumption, results for information of the organization and as a basis for future energy diagnoses. The result indicated the detailed energy diagnosis of the systems under study.

The calculation of the thermal load was made for each of the building's enclosures, according to the methods proposed by ASHRAE, which determined that the total thermal load of the building is 133TR [467.74 kW] with a factor of diversity 90% The installed cooling load per facility was analyzed, based on updated plans and route in facilities. The installed cooling load was compared with the thermal load calculated in BTU / h, in each air-conditioned room.

A generic methodology was established for a passive and active energy efficiency analysis, due to a change of luminaires and a lighting control, the obtaining of results is facilitated by a programmed electronic sheet. This diagnostic methodology was applied to the case under study.

It was determined energy saving proposals applicable to the air conditioning system due to the alternative of a watercooled system, with a reduction of the kW / TR indicator by 33% with respect to the current system and a 100% reduction in the Potential Depletion Index of Ozone (PAO), a reduction of 269,880 kWh / year, a possible reduction of 186TonCO₂ / year and a savings associated with \$18 507 / year in energy and demand.

It was reduced by 20% with respect to the maximum demand at the start of fan and coil units. A preliminary analysis was made to evaluate the feasibility of an ice bank proposal. Lighting control strategies applicable given the actual conditions of the facilities were determined, an eventual 30% reduction in energy and 20% in demand was achieved for the installed power in lighting, due to the use of natural light, as well as a 10% in energy due to nominal power cuts in strategic periods. With a reduction of 22 856 kWh / year, a possible reduction of 16 TonCO₂ / year, and an associated savings of close to \$2 757/ year.

As a general result, it was established that the methodological model is replicable in other office buildings, from which energy management indicators are obtained, established in 4 levels (by area, by application, energy efficiency, CO₂ emissions) for the implementation of the program. respective energy of the building, and Benchmarking. Likewise, tools were created to facilitate energy diagnostics in the proposed systems.

Keywords: Energy diagnosis of buildings, energy monitoring, energy saving, air conditioning, lighting strategies, energy efficiency, energy indicators.

1. CAPÍTULO I.

1.1 Introducción

Los sistemas de HVAC (*Heating, ventilation, and air conditioning*), e iluminación representan una gran parte del consumo energético en todo tipo de edificios, y estos constituyen cerca del 40% de la energía consumida en los países industrializados, una participación que deja mucho campo de acción para optimizar la eficiencia (Dakwale, Ralegaonkar & Mandavgane, 2011).

Esto quiere decir que es necesario modificar el perfil de consumo tradicional, y optimizarlo para alcanzar eficiencia energética. Donde es indispensable, pero no suficiente, un enfoque de eficiencia energética pasiva; mediante la implementación de acciones correctivas para evitar pérdidas, y además alcanzar la eficiencia activa mediante el monitoreo, medición, automatización y análisis de posibles mejoras respecto a normativas establecidas de ahorro energético que muchas veces se pasan por alto, tanto desde el punto de vista energético como ambiental.

El factor ambiental se ha discutido mediante la reducción de gases de efecto invernadero (GEI), relacionados a la destrucción de la capa de ozono. En edificios esto se encuentra ligado al alto porcentaje de consumo energético (para generación de energía con fuentes no renovables) además de la operación de sistemas de climatización bajo la restricción de refrigerantes contaminantes. Dentro de todo este contexto se encuentra la jurisdicción de los Protocolos de Montreal y Kioto firmado por países a nivel mundial, y en el cual se encuentra Costa Rica.

Debido a esto, la eficiencia energética además de ser un tema financiero representa también un compromiso social y medioambiental en empresas que buscan contribuir y ser agentes de cambio mediante sus políticas de sustentabilidad.

Este proyecto tendrá su campo de acción en el estudio energético de los edificios de oficinas administrativas de Procter & Gamble ubicados en Santa Ana, San José, con el fin de realizar un diagnóstico energético para la búsqueda de propuestas de mejora específicas en los sistemas de climatización e iluminación, para optimizar el servicio de gestión de edificios (BMS) brindado por la empresa Control Soft, así mismo se

busca generar un formato general para que pueda ser aplicable por esta empresa en otros edificios de oficinas.

1.2 Reseña de la Empresa

ControlSoft, se encuentra ubicado en Santo Domingo de Heredia, en el condominio comercial Santa Rosa, bodega 33. Fue fundada en el año 2002 por tres Ingenieros Electricistas de la Universidad de Costa Rica, dada la alta demanda en el desarrollo de tecnificación y modernización en sistemas de producción en la industria costarricense, lo que generó la necesidad de contar con mano de obra técnica especializada en sistemas de automatización de procesos industriales.

Desde su fundación, ControlSoft ha tenido el objetivo de brindar soluciones integrales a los procesos de manufactura industrial. Propósito que se ha alcanzado mediante la implementación y desarrollo de aplicaciones de control automatizado con el uso de software y hardware. De esta manera se logra brindar servicios en tecnologías para reducción de costos operativos, eficiencia energética, diseño e instalación de sistemas de procesos industriales, y el desarrollo de tecnología mecatrónica. Así mismo, se desarrollan tecnologías de monitoreo enfocado en el concepto IoT (Internet de las cosas), y el desarrollo del sistema de gestión de edificios (BMS). La empresa opera en Costa Rica y brinda servicios en Centroamérica, a países como Panamá, El Salvador y Nicaragua.

1.3 Misión:

Proveer a nuestros clientes soluciones integrales y oportunas con sistematización y automatización que utiliza tecnología de punta unida a nuestro recurso humano.

1.4 Visión:

Consolidar a Sistemas Control Soft como la mejor opción de soluciones de sistematización y automatización en Latinoamérica.

1.5 Descripción del proceso productivo

ControlSoft al ser una empresa de desarrollo ingenieril en automatización industrial, lo que hace es brindar un servicio según la necesidad del cliente. Es por esto que, a partir de esa necesidad, se pone en marcha el desarrollo de la solución, mediante etapas varias que van desde el desarrollo de ingeniería, instalación y puesta en marcha. A continuación, se detalla el proceso de operación de la empresa.

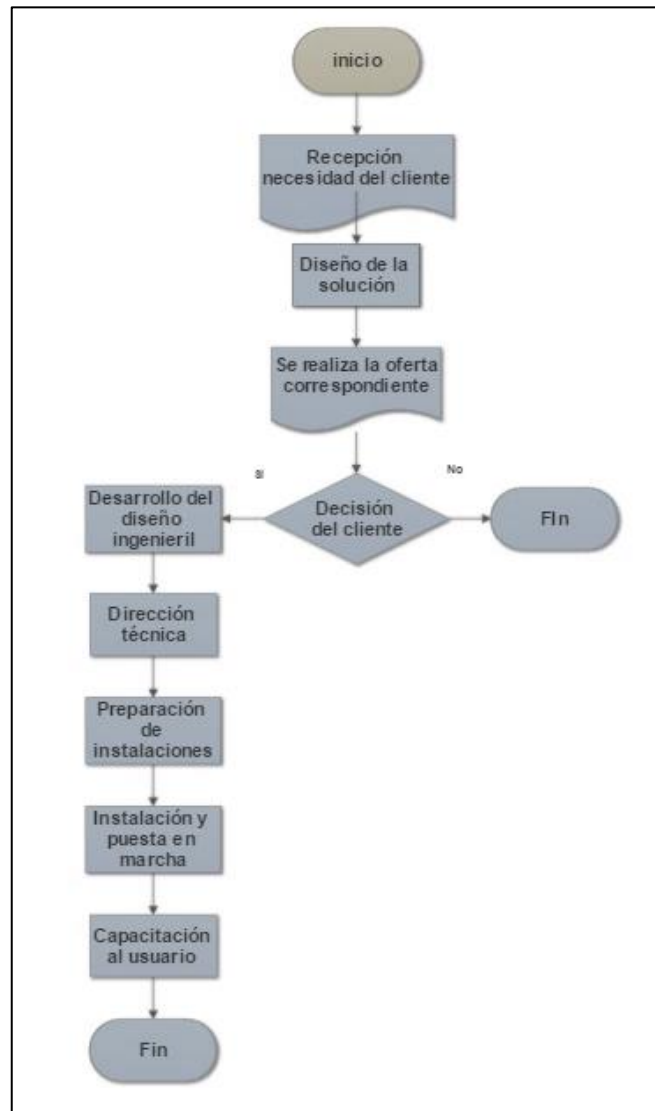


Figura 1. Descripción del proceso productivo de la empresa ControlSoft.

Fuente: Elaboración propia. Smart Draw.

1.6 Planteamiento del problema

1.6.1 Justificación del proyecto.

Los sistemas de climatización artificial e iluminación desempeñan un papel importante en los edificios corporativos de oficinas, cuyo objetivo principal es lograr el confort general de los ocupantes. Sin embargo, estos sistemas superan a otras aplicaciones, abarcando más del 50% del consumo eléctrico total del edificio en la mayoría de los casos (García, 2015), por lo que se debe prestar especial atención en la eficiencia energética, para así contribuir un aspecto de gran importancia como es la conservación del medio ambiente a través de la reducción del consumo de energía y la operación óptima de la refrigeración por compresión del sistema de climatización artificial. Este factor ambiente se encuentra ratificado por el Protocolo de Montreal, que dicta la regulación de sustancias que agotan la capa de ozono, en este caso, la restricción de refrigerantes contaminantes en la operación de plantas de enfriamiento de agua. Además del Protocolo de Kyoto para la disminución de gases de efecto invernadero (GEI), como el CO₂ (en un 5,2% en 2012 y un 20% para el 2020, según Schneider Electric) fomentando una reducción del consumo energético como medida o indicador para la disminución de este contaminante.

Como primer punto, para alcanzar esta eficiencia energética en un edificio, se debe dar un enfoque activo, es decir, implementar cambios continuos mediante la medición, monitoreo y control del uso de energía. Esto queda claro, pues sin la gestión energética adecuada y herramientas de control, los equipos ahorradores solo mitigan desperdicios de energía, pero no logran disminuir el consumo energético, ni corregir malos hábitos.

Dadas las nuevas tecnologías, se dispone de herramientas que facilitan esta implementación. Esto permite introducir el concepto de edificio inteligente.

Según Marchais (2011) un edificio inteligente es aquel que proporciona un ambiente de trabajo productivo y eficiente a través de la optimización de sus cuatro elementos básicos: estructura, sistemas, servicios y administración, con las interrelaciones entre ellos. Los edificios inteligentes ayudan a los propietarios, operadores y ocupantes, a

realizar sus propósitos en términos de costo, confort, seguridad, flexibilidad y comercialización.

Esto apunta a un área de especialización de ControlSoft, dedicada a la Gestión de Edificios (BMS) donde se logra la implementación de la automatización para el control de la eficiencia, en pro de alcanzar el ahorro energético permanente, y tener beneficios colaterales de alto impacto. Para edificios en operación, es necesaria la aplicación de una herramienta de diagnóstico energético, que dicte las bases de consumo energético actuales, y la posibilidad de identificar propuestas de conservación de la energía (OCE). Además del establecimiento de indicadores de gestión energética que cuantifiquen los valores actuales y la comparación de un valor meta al aplicar las medidas activas y pasivas en el consumo de la energía.

Este proyecto brinda la herramienta de diagnóstico energético, enfocado a los sistemas mencionados, en edificios de oficinas, a partir de un sistema de monitoreo energético brindado por ControlSoft, el caso en estudio es uno de los 3 edificios donde P&G ejecuta operaciones (edificio B). Para crear un modelo replicable en proyectos de reforma energética en edificios de oficinas tanto dentro y fuera de Costa Rica.

1.6.2 Descripción del problema.

Todo el análisis de las condiciones que se realiza en el proceso de automatización un edificio es de vital importancia, pues es la herramienta clave para clasificar los edificios según su grado de eficiencia, y lograr definir las acciones más idóneas en cada caso. Así mismo, dejar claro al cliente, los puntos claves identificados donde se puede aumentar la eficiencia, mediante resultados concretos dentro del estudio de los sistemas mencionados, para la mejora de la gestión brindada por ControlSoft.

1.7 Objetivos del proyecto.

1.7.1 Objetivo general.

- Desarrollar un diagnóstico de la eficiencia energética en los sistemas de climatización artificial e iluminación de los edificios administrativos de Procter & Gamble ubicados en Santa Ana, San José.

1.7.2 Objetivos Específicos.

1. Desarrollar un modelo metodológico genérico para la evaluación de la eficiencia energética en edificios de oficinas, y la obtención de indicadores de gestión.
El entregable será el modelo genérico que pueda ser replicable en diagnósticos energéticos posteriores.
2. Realizar una Auditoría Energética de primer nivel al edificio B para detección de principales divisiones consumidoras y búsqueda de oportunidades de conservación de energía.
El entregable será un informe con los resultados obtenidos: consumos energéticos de las divisiones consumidoras, identificación de principales consumidores.
3. Comparar la carga térmica instalada con la carga térmica calculada de cada recinto climatizado, según los métodos propuestos por *ASHRAE Handbook-HVAC Systems and Equipment*.
El entregable será una hoja electrónica programada para posteriores estudios de carga térmica en edificios de oficinas.

4. Realizar un estudio del consumo energético en iluminación, a partir de una comparación mediante la implementación de una hoja electrónica, para la identificación de oportunidades de conservación de energía.

El entregable será una hoja electrónica programada que cuantifique la diferencia en el consumo para estudios en iluminación posteriores.

5. Determinar propuestas de ahorro de ahorro energético y la viabilidad de implementación.

El entregable será una tabla resumen que muestre los resultados de las propuestas de ahorro energético.

1.8 Viabilidad.

El proyecto se realizará en conjunto con la empresa Control Soft, de manera que el acceso a los edificios para el reconocimiento de las instalaciones será facilitado debido a que son clientes actuales de la empresa. En el desarrollo del proyecto, se aplicará el conocimiento obtenido en los cursos: Aire Acondicionado, Ahorro energético e Instalaciones eléctricas, y demás formación recibida en el área de la Ingeniería Electromecánica.

1.9 Metodología.

1) Reconocimiento de instalaciones.

Se hacen recorridos por los edificios y se delimita la realización del proyecto al edificio B.

2) Recolección de datos.

Se toma como referencia el sistema de medición aplicado por ControlSoft, se establecen las divisiones consumidoras de análisis.

3) Revisión energética inicial o auditoría.

Se realiza una auditoría de primer nivel mediante el análisis de gráficas de consumos y demanda del edificio. Se establecen indicadores de medición y monitoreo.

4) Diagnóstico energético al sistema de climatización artificial

Como parte de un diagnóstico energético al sistema de climatización, se hace el cálculo de la carga térmica mediante la metodología establecida por ASHRAE y Edward G. Pita, para la comparación energética de la carga térmica suministrada y la real en cada recinto. Con el conocimiento de la carga térmica se pueden establecer propuestas para sustitución de equipos.

5) Diagnóstico energético al sistema de iluminación.

Se realiza una evaluación de la potencia instalada por área, y se establecen estrategias de control de la iluminación aplicables al caso en estudio. Se emplean herramientas como DIALux para la evaluación.

6) Búsqueda de oportunidades de conservación de energía.

Se hace un análisis de las alternativas que respondan a las mejoras encontradas en los diagnósticos energéticos.

1.10 Alcance y limitaciones.

El horizonte del proyecto se enfoca al diagnóstico energético de un edificio de oficinas administrativas de P&G. Para establecer una metodología a un nivel apto para que la empresa Control Soft desarrolle la implementación óptima de sistemas BMS en edificios, orientado al sistema de Aire acondicionado e iluminación.

Dentro del informe final se incluirá el análisis financiero para establecer así un escenario real de la ejecución de alguna OCE detectada y proyectar el tiempo en que el cliente pueda empezar a ver los beneficios del ahorro energético

La necesidad de realizar mediciones en condiciones poco favorables, así como la obtención de equipo especializado y la constante toma de datos en los edificios actualmente en ocupación por los empleados de P&G, además de sus rigurosas políticas para contratistas.

CAPÍTULO II.

2.1 Marco teórico.

Según Peña & García (2015). El consumo de energía en el uso y el funcionamiento de los edificios depende de:

- Las condiciones climáticas.
- Las características de la envolvente.
- Las condiciones del ambiente interior.
- Las actividades y los procesos realizados.
- El comportamiento del usuario.
- Las características y configuración de los sistemas técnicos.

Para el caso de la edificación no residencial, con aplicación de oficinas, el consumo de energía es intrínseco a los servicios necesarios para la correcta operación de estos. Es decir, la energía consumida se debe a sistemas que brindan confort a los ocupantes, entre otros servicios relacionados al uso del edificio. Al no haber un proceso productivo, el ahorro de energía será consecuente a la eficiencia de los sistemas instalados, y al uso racional de la energía por parte de los usuarios.

Ahora bien, es posible reducir el consumo sin afectar el confort, de esta manera un punto clave a considerar es la eficiencia energética desde el punto de vista activo (automatización), que complementa las estrategias pasivas (equipo eficiente), para lograr el objetivo común. Este concepto se visualiza en la Figura 2.

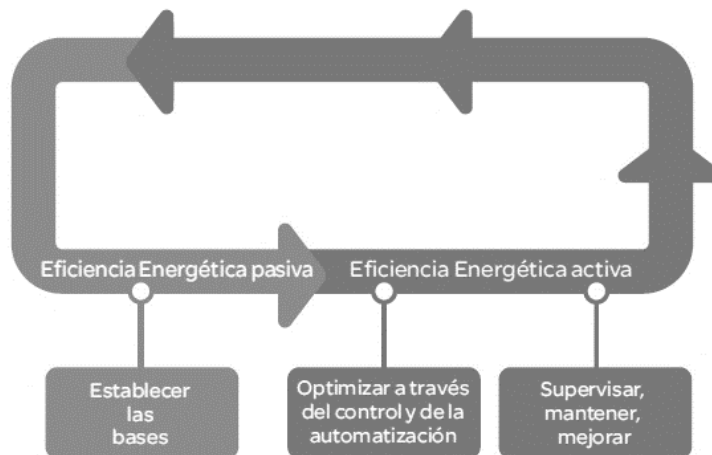


Figura 2. Concepto del ahorro energético basado en sistemas activos y pasivos.

Fuente: *Shneider Electric.*

2.2 Desempeño energético.

Según García (2015). El concepto de desempeño energético se refiere a una serie de resultados medibles relacionados con la eficiencia energética, el uso de la energía y el consumo de la energía. Es necesario tener en cuenta las siguientes definiciones:

- Uso de la energía: Forma o tipo de aplicación de la energía
- Consumo de energía: Cantidad de energía utilizada, puede ser expresada en unidades de masa, volumen o energía.
- Eficiencia energética: Proporción u otra relación cuantitativa entre el resultado en términos de desempeño, de servicios, de bienes o de energía y la entrada de energía.
- Indicador de desempeño energético: Valor cuantitativo que define el desempeño, puede ser definido por la organización.

Por ello, cuando se alude al concepto de desempeño energético, se está expresando la necesidad de identificar todas las instalaciones o divisiones consumidoras, almacenadoras o generadoras de energía, los equipos que las constituyen y todos los tipos de formas de energía consumidas en ellas. Pero el desempeño energético incluye, además, la necesidad de establecer unos indicadores que describan la

evolución de las diferentes tendencias observadas de parámetros energéticos de interés para la organización.

“Esta parte del concepto de desempeño energético recoge la necesidad de establecer sistemas de medida y tratamiento de datos de dichos parámetros para traducirlos a unos indicadores que faciliten la interpretación de la evolución de la optimización energética en la organización, resultando así similar a la definición de unos criterios de evaluación de la significatividad de aspectos energéticos” (García, 2015).

2.3 Sistema de gestión de edificios (BMS).

Cuando se habla de edificaciones inteligentes debe verse involucrado una gestión centralizada mediante la combinación de innovaciones tecnológicas y no tecnológicas, con administración inteligente de los recursos del mismo, para maximizar el retorno de inversión, tener un espacio seguro que permita a los ocupantes realizar sus actividades (Astesana & Medina, 2016).

Áreas de aplicación:

- Hoteles
- Hospitales
- Colegios, Universidades
- Aeropuertos
- Supermercados
- Oficinas corporativas.



Figura 3. Representación de una gestión BMS.

Fuente: Control Soft Systems.

2.4 Monitoreo energético.

La energía eléctrica empleada por una organización deber ser supervisada conscientemente, ya sea por la intensidad del proceso productivo o por políticas ambientales de la organización. Un sistema de gestión energética debe enfocarse como primer objetivo, la medición de los parámetros energéticos determinantes que determinan el perfil energético de la empresa.

Cuando se conoce el gasto energético no solo se logra reducir el consumo no útil, lo que supone un mayor coste económico debido a la energía, sino que además se incrementa el desgaste de los equipos y el grado de mantenimiento que se debe aplicar (IDEA, 2009).

Según Carrasco & Carrión (2015). En empresas con elevadas potencias contratadas, necesitan en una primera fase, la optimización de la potencia contratada con el fin de evitar sobrecostes o penalizaciones que pueden producir un quebranto económico. Una vez que se haya optimizado la potencia utilizada con la empresa distribuidora, es el momento de reducir el consumo de energía y para ello es necesario medir y controlar

el consumo eléctrico. El contador eléctrico muestra una visión global de toda la empresa, pero no monitoriza los consumos para diferentes receptores internos de la empresa (Cárcel, 2014). Por ello la monitorización energética, es una herramienta útil como herramienta para conseguir mayor eficiencia en el consumo.

A partir de esta primera fase, la monitorización y control del consumo eléctrico sobre los elementos de mayor consumo se puede fomentar el ahorro energético, así como la visualización de acciones dirigidas a optimizar el uso energético.

- Análisis de los datos, comparándolos con patrones de consumos conocidos y parámetros exteriores ambientales como temperatura y humedad, que pueden hacer decidir las acciones de ahorro energético.
- Posibilidad de medir diferentes parámetros y seguimiento mediante gráficos que permitirán la toma de decisiones.
- Inclusión de alarmas para detectar consumos excesivos o superfluos.

Con un sistema de medición de parámetros eléctricos podemos obtener algunas otras ventajas adicionales:

- Determinar la energía reactiva para la corrección óptima del factor de potencia, y minimizar pérdidas en los conductores por calentamiento.
- Identificar aquellas cargas que contribuyen en mayor medida al consumo de energía, demanda máxima y/o bajo factor de potencia.
- Calcular los índices energéticos y compararlos con los niveles recomendados.

2.4.1 Términos eléctricos.

Según la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, se tiene algunos conceptos necesarios para la interpretación de la facturación eléctrica:

- **Corriente eléctrica.**

La corriente eléctrica corresponde al movimiento de cargas eléctricas a través del área transversal de un conductor, por unidad de tiempo. Su unidad es el Ampere (A).

- **Tensión eléctrica.**

Para que la corriente eléctrica pueda fluir, debe existir un medio físico por el cual se moverán los electrones, pero, además, debe existir una fuerza externa que proporciona esa energía mínima para lograr su movimiento. Esta fuerza externa o presión que permite el flujo de electrones en un conductor es la tensión y se puede obtener de baterías, sistemas fotovoltaicos o eólicos, o de una empresa distribuidora. Comúnmente llamada Voltaje, cuya unidad es el Volt (V).

La tensión depende exclusivamente de la empresa distribuidora y los valores nominales disponibles para uso directo de equipos son 120 V, 208 V, 240 V, 227 V ó 480 V. Aparte de estos valores se encuentran los de transmisión de alta potencia, que por supuesto son valores mayores.

- **Energía eléctrica.**

En electricidad se representa como la potencia requerida por un tiempo determinado, lo que lleva a expresarse en kW/h.

- **Potencia eléctrica.**

Potencia es la velocidad a la que se consume la energía. Si la energía fuese un líquido, la potencia sería los litros por segundo que vierte el depósito que lo contiene. La potencia se mide en joule por segundo (J/s) y se representa con la letra P. Un J/s equivale a 1 watt (W), por tanto, cuando se consume 1 joule de potencia en un segundo, se está consumiendo 1 watt de energía eléctrica. La unidad de medida de la potencia eléctrica P es el watt, y se representa con la letra W o kW para cantidades grandes.

- **Demanda eléctrica.**

Valor de la potencia eléctrica requerida por una instalación eléctrica, elemento de red o dispositivo eléctrico en un instante dado.

La demanda eléctrica se determina a partir del consumo de energía de un equipo o máquina y equivale al valor promedio de potencia eléctrica en un intervalo de tiempo.

- **Demanda máxima.**

En el caso de Costa Rica, la Autoridad Reguladora de Servicios Públicos (ARESEP) es la encargada de establecer las pautas en la facturación del servicio eléctrico por parte de las compañías eléctricas, mediante la Norma de Uso, Funcionamiento y Control de Contadores de Energía Eléctrica (AR-DTCON), del 21 de diciembre del 2001, publicada en La Gaceta No. 5 del 8 de enero 2002, la cual establece en la página 58 que:

“Para los servicios en los que las empresas eléctricas facturan, además de la energía consumida, la potencia, la demanda a facturar será la máxima que se registre en un intervalo de integración de quince minutos (15), durante el período a facturar.”

Así la demanda de un equipo eléctrico corresponde a su potencia promedio en un intervalo de 15 minutos. Los medidores eléctricos toman lecturas cada 15 minutos, es decir, que en una hora hay 4 valores y en 24 horas, 96 valores de demanda.

En un mes de 30 días, por lo tanto, hay 2,880 valores de demanda. Para efectos de facturación, el medidor guarda en su memoria interna el valor máximo de demanda registrada entre todos estos 2,880 valores a lo largo del mes. La demanda máxima se factura a partir de los consumos superiores a los 3,000 kWh.

- **Perfil de carga.**

Los medidores eléctricos registran el consumo de energía de los clientes y en forma indirecta, determinan la demanda de cada cliente cada 15 minutos. Algunos medidores tienen la capacidad de almacenar hasta 3 meses de datos de demanda en su memoria interna, permitiendo conocer el comportamiento de la demanda.

Este comportamiento se conoce como curva o perfil de carga y es muy útil para determinar anomalías en el consumo de energía esperado de un equipo o sistema específico, a partir del consumo total de un inmueble. Para efectos de ahorro, sirve para establecer los parámetros con los cuales se determinará el monto ahorrado.

El estudio de un perfil de carga se puede obtener para un día en específico y así determinar el comportamiento de la demanda en los diferentes horarios del día.

Además, se puede obtener un comportamiento de la demanda máxima registrada durante un periodo de tiempo en meses o años para las aplicaciones de control.

En el caso de los estudios de perfil diarios es importante la instalación de medidores de energía consumida que permitan la monitorización de la demanda y si fuera el caso que provean de un gráfico de tal estudio, asimismo para el caso de los estudios mensuales o anuales es necesario un historial, que igualmente puede

2.5 Planificación energética (Según Norma ISO: 500001).

Según la norma ISO 500001, un concepto a considerar es la planificación energética, donde su pilar se basa en la revisión energética de las organizaciones que deseen optar por un Sistema de Gestión de la Energía. Dados los objetivos de este proyecto, no se profundizará en esto, más se empleará una base metodológica según esta norma, para lograr estructurar de la manera más ordenada posible el proceso a realizar. Mientras que se abarcará todo el proceso de revisión energética, explicado en el apartado 2.5.1.

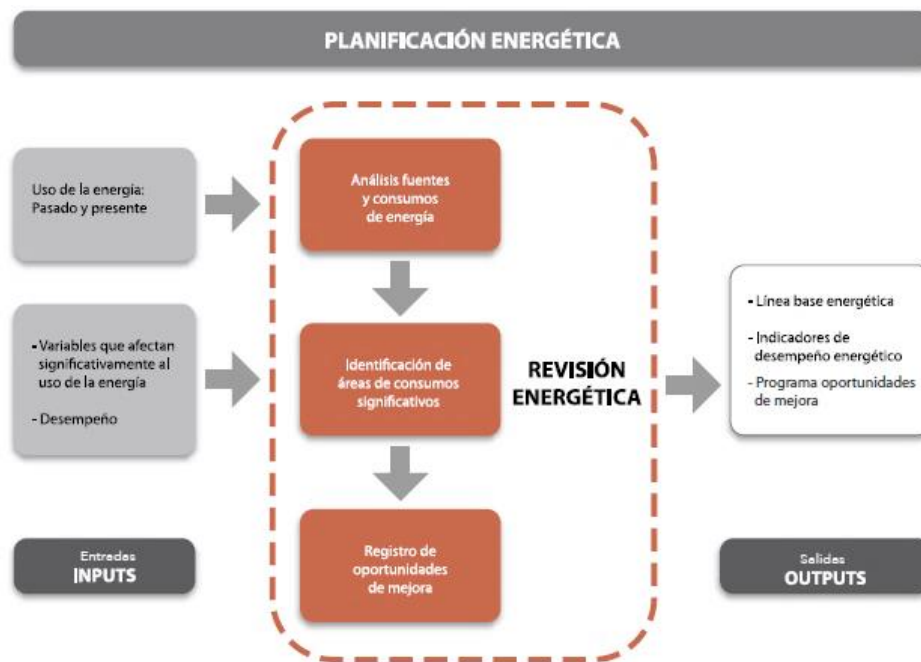


Figura 4. Diagrama conceptual del proceso de planificación energética.

Fuente: Norma ISO 50001

2.5.1 Revisión energética.

La norma ISO 50001 establece que la revisión energética es un proceso de desarrollo y análisis del perfil energético de la organización y brinda soporte a la planificación energética. Aquí se contempla el análisis de los consumos de energía que provienen de distintas fuentes, cuyo fin es comprender si está funcionando adecuadamente y en qué áreas del proceso se concentra el uso significativo. El resultado de la revisión energética es información crítica para definir la línea base, los indicadores de desempeño energético, objetivos, metas y plan de acción.

Es un proceso independiente al monitoreo permanente del desempeño energético que se debe realizar periódicamente para identificar variaciones significativas en la operación.

Debido a que la ISO 50001 busca que el estándar sea aplicable a empresas de todo tamaño y nivel de complejidad, la revisión energética se describe como un proceso general de reunir los datos de consumo, analizarla y obtener información de valor para la gestión de la energía, con los que la organización cuenta para la gestión de la energía y si es necesario profundizar en algún punto específico del proceso, con el fin de asegurar los recursos necesarios y distribuirlos de la mejor forma.



Figura 5. Esquema del proceso de revisión energética en una organización.

Fuente: Norma ISO 50001

A continuación, se describen los requisitos de la ISO 50001 y algunas sugerencias metodológicas que pueden ser útiles en la profundización del análisis.

a) *Análisis de los usos y consumos de energía.*

Para poder realizar el análisis del uso y consumo energético y la identificación de las áreas de uso significativo de la energía, debe realizarse una revisión energética inicial. Aunque no es la única, la manera más exhaustiva de realizar esta revisión inicial es mediante una auditoría energética.

El primer paso de la revisión energética consiste en un estudio inicial basado en la identificación de las fuentes de energía utilizadas por la organización, dentro de los límites y alcances definidos para el SGE. Para ello, es necesario recopilar datos básicos sobre los equipos que consumen energía, las prácticas, horarios de trabajo, los consumos y el estado general de las instalaciones.

Una vez identificadas las fuentes de energía, se llega a la etapa de medición y recolección de datos, donde se extraen los datos de consumo de cada fuente de energía y de los usos de ellas, prestando especial atención a aquéllos en los que se han localizado mayores oportunidades de mejora.

b) *Identificación de los usos significativos de energía.*

Los usos significativos de energía son aquéllos que tienen un consumo sustancial de energía y/o que ofrecen un alto potencial de mejora en el desempeño, por lo que son los puntos en los que la organización debe enfocar su gestión. Cabe destacar que la norma ISO 50001 permite que la organización sea quien determine el criterio para definir qué es significativo en su organización. Lo más común es identificar los usos significativos de energía, basado en aquéllos que tienen la mayor porción del consumo de energía o bien, en términos de costo.

Existen algunas herramientas que facilitan la identificación de estos consumos significativos, para efectos de este proyecto, se empleó el Diagrama de Pareto.

c) Identificación, priorización y registro de las oportunidades de mejora en el desempeño energético.

Las oportunidades de mejora pueden clasificarse en dos grandes grupos: las que no conllevan gasto alguno (cambio de hábitos de consumo, regulación y programación, mantenimiento, entre otras) y aquellas que sí necesitan una inversión inicial (sustitución de equipos). Estos datos pueden ser de ayuda a la hora de priorizar la implementación de las medidas de ahorro identificadas. Para cada propuesta se calcula una estimación de la inversión a realizar y su rentabilidad (período de retorno de la inversión). El registro de las oportunidades de ahorro es un documento que deberá considerarse a la hora de fijar los objetivos y las metas energéticas de la organización, ya que refleja las ideas recopiladas en la organización sobre la mejora de la gestión de la energía.

2.5.2 Línea base energética.

La norma 50001 define la línea base energética como la referencia cuantitativa que proporciona la base de comparación del desempeño energético. Muestra un período específico y puede normalizarse utilizando variables que afecten el uso o consumo de la energía, por ejemplo: nivel de producción, grados-día (temperatura exterior). Permite crear una base para calcular ahorros energéticos, sirviendo como referencia antes y después de implementar las acciones de mejora del desempeño energético.

2.6 Auditoría energética.

Las auditorías energéticas son una poderosa herramienta para el descubrimiento de mejoras operativas y de equipos que permitirán ahorrar energía, reducir costos y dar lugar a un mayor rendimiento. Son el primer paso para reducir el consumo de energía y mejorar el rendimiento del proceso y las instalaciones en general. El propósito de una auditoría energética es determinar dónde, cuándo, cómo y por qué es utilizada la energía en la planta (Pacific Northwest, 2011).

El resultado final es una lista de oportunidades de conservación de energía (OCE), donde se determina el ahorro potencial de la empresa, la inversión requerida, así como el tiempo de retorno de la inversión

La Sociedad Americana de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning, ASHRAE, 2004), define 3 niveles de auditoría energética. Cada nivel de auditoría se construye sobre el anterior, aumentando la complejidad del estudio:

Nivel I: Es la evaluación del sitio o auditoría preliminar. Identifica oportunidades de ahorro que requieren baja inversión y una visión general de posibles mejoras. Las actividades que incluye son análisis de las facturas de energía y una breve inspección de las instalaciones.

Nivel II: Se trata del estudio y análisis ingenieril del uso energético. Identifica OCE de baja inversión, provee recomendaciones en línea con su disponibilidad económica de inversión y mejoras que representen potenciales elevados de ahorro. Incluye un análisis profundo de los costos de energía, el uso de energía, las características del edificio y un estudio más refinado de cómo se utiliza la energía en su edificio.

Nivel III: En este nivel se proporcionan recomendaciones sólidas y análisis financieros para opciones que requieren grandes inversiones de capital. Además de las actividades en Nivel I y II, ofrece un grado de supervisión mayor, monitoreo, recolección de datos y análisis de ingeniería.

2.7 Marco Legal en Costa Rica.

No existe una Ley General de electricidad con los fundamentos generales para todos los sectores, en su defecto, existe un amplio marco legal para entes en particular.

Para el sector privado destaca la ley N° 7447 "Regulación del Uso Racional de la Energía" (Asamblea Legislativa, 1994), cuyo objetivo es consolidar la participación del Estado en la promoción y ejecución gradual del programa de uso racional de la energía considerando la protección del ambiente. Está basado en tres postulados

- La obligación de ejecutar proyectos de uso racional de la energía en empresas de alto consumo

- El control sobre los equipos y las instalaciones que, por su uso generalizado, incidan en la demanda energética
- El establecimiento de un sistema de plaqueo que informe a los usuarios de su consumo energético.

2.8 Climatización de un recinto.

El acondicionamiento del aire en un recinto es el proceso de tratamiento de este ambiente interior, con el objetivo de establecer y mantener estándares requeridos para temperatura, humedad, limpieza y movimiento. En este proceso entran en juego varios factores que ayudarán a mantener estándares adecuado para lograr el principal objetivo; el confort térmico.

2.8.1 Calidad de aire en edificios.

Es necesario trazar los lineamientos para iniciar un cambio en la cultura de diseño, mantenimiento y ahorro energético en sistemas de climatización en edificios, según Monge (2017), se propone:

- Recomendar mejoras en los diseños de climatización activa y pasiva en los edificios.
- Recomendar técnicas de ahorro energético en la operación de estos sistemas.
- Mejorar procedimientos de mantenimiento de los equipos de climatización.
- Prevenir los efectos en la salud por el descuido en la calidad del aire.

2.8.2 Carga térmica.

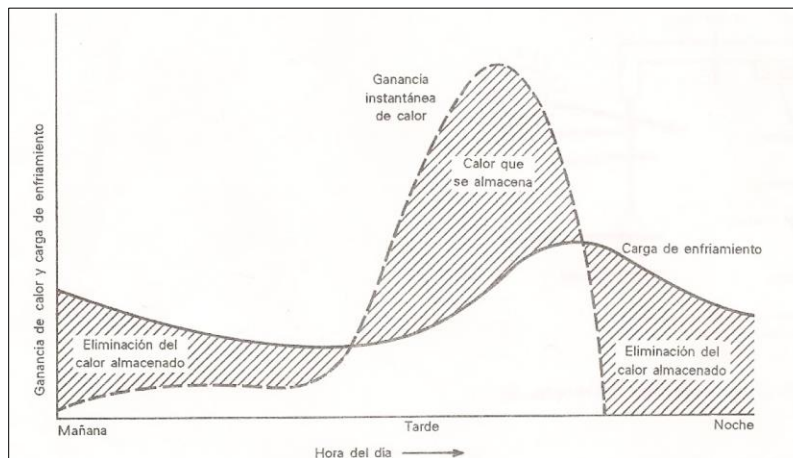
2.8.2.1 Carga de enfriamiento.

El interior de un edificio gana calor debido a varias fuentes. Si la temperatura y humedad del aire en los recintos de deben mantener a un nivel confortable, se debe extraer calor para compensar las ganancias mencionadas. A esta cantidad neta de

calor que se retira se llama carga de enfriamiento. En el apartado 2.8.2.3 se especifican estas ganancias de calor para la realización del proyecto.

2.8.2.2 Efecto de almacenamiento de calor.

La ganancia de calor bruta del recinto es la velocidad a la que se recibe calor en cualquier momento del recinto. Esta ganancia de calor está constituida por partes procedentes de muchas fuentes: radiación solar, alumbrado, conducción y convección, personas, equipo, infiltración. El calor de todas estas fuentes no se emplea de forma inmediata para calentar el aire del recinto, sino que generalmente la ganancia por radiación, la iluminación y personas, se absorbe en los materiales dentro del recinto, tanto en su estructura como en mobiliario (Pita, 2005).



Fuente: Acondicionamiento de aire, Edward Pita (2014).

Figura 6. Diferencia entre la ganancia instantánea de calor y la carga de enfriamiento.

La figura 3 muestra este comportamiento, este efecto puede considerarse como un retraso del calor, es decir, algo del calor que se recibe del recinto se retrasa en el tiempo para calentar el aire del mismo.

2.8.2.3 Ganancias de calor.

Las fuentes de calor de un recinto pueden agruparse en dos tipos; ganancias del exterior y ganancias generadas en el interior del recinto. Y dada la naturaleza de estas ganancias, puede darse calor sensible o latente.

Calor sensible: Para provocar el aumento o disminución de la temperatura de una sustancia a presión constante (Díaz, 2011).

Calor latente: Para pasar de un estado físico a otro de una sustancia sin variación de su temperatura, sólido a líquido, (fusión), líquido a vapor, (ebullición) o viceversa (Díaz, 2011). En este caso se adiciona vapor de agua al entorno, y aumenta la humedad

Para este cálculo, se empleó las ecuaciones que se presentan a continuación, las cuales se encuentran basado según Pita (2014).

- **Conducción a través de la estructura exterior.**

$$Q = U \times A \times DTCE_e$$

Ecuación 1. Conducción a través de la estructura exterior.

Fuente: Acondicionamiento de aire, Edward Pita (2014).

Dónde:

Q = ganancia neta del recinto por conducción a través del techo, paredes o vidrio, Btu/h.

U = Coeficiente general de transferencia de calor para el techo, paredes o vidrios BTU/h-ft² -°F.

A = Área del techo, pared o vidrios, ft².

DTCE_e = Diferencia de temperatura para carga de enfriamiento, °F.

$$DTCE_e = [(DTCE + LM) \times k + (78 - T_R) + (T_0 - 85) \times f]$$

Ecuación 2. Diferencial de conducción corregido para paredes y techos.

Fuente: Acondicionamiento de aire, Edward Pita (2014).

Dónde:

DTCEe = Valor corregido de DTCE, °F.

DTCE = Temperatura para carga de enfriamiento, °F.

LM = Corrección para latitud al calor y mes, ver anexo.

K = Corrección debido al color de la superficie.

K = 1 superficies oscuras o áreas industriales.

K = 0.5 para techos de color claro en zonas rurales.

K = 0.65 para paredes de color claro en zonas rurales.

TR = Temperatura del recinto, °F.

T0 = Temperatura de diseño exterior promedio, °F.

f = Factor de corrección para ventilación del cielo raso (solo para techo).

f = 0.75 para ventiladores de entrepiso (techo falso); en los demás casos, usar f=1.0.

- **Conducción a través de la estructura interior.**

$$Q = U \times A \times DT$$

Ecuación 3. Conducción a través de la estructura exterior.

Fuente: Acondicionamiento de aire, Edward Pita (2014).

Dónde:

Q = Velocidad de transferencia de calor a través de la división, piso o cielo raso, Btu /h.

U = Coeficiente global de transferencia de calor para la división, piso o cielo raso, Btu/h-ft²-°F.

A = Área de la división, piso o cielo raso, ft².

DT = Diferencia de temperatura entre los espacios sin acondicionar y los acondicionados, °F.

- **Radiación solar a través de vidrios.**

$$Q = FGSC \times A \times CS \times FCE$$

Ecuación 4. Radiación solar a través de vidrios.

Fuente: Acondicionamiento de aire, Edward Pita (2014).

Dónde:

Q = Ganancia neta por radiación solar a través del vidrio, Bth/h.

FGCS = Factor de ganancia máxima de calor área del vidrio ft². Ver anexo 13. A = Área del vidrio ft².

CS = Coeficiente de sombreado. Ver anexo 14.

FCE = Factor de carga de enfriamiento para el vidrio. Ver anexo 15.

- **Ganancia debida a la iluminación.**

$$3,4 \times W \times FB \times FCE$$

Ecuación 5. Ganancia de calor debido por iluminación.

Fuente: Acondicionamiento de aire, Edward Pita (2014).

Dónde:

Q = Ganancia neta de calor debida al alumbrado, Btu /h.

W = Capacidad del alumbrado, watts.

FB = Factor de balastro; 1.25 alumbrado fluorescente, alumbrado incandescente es 1.0.

FCE = Factor de carga de enfriamiento para el alumbrado (1.0).

- **Ganancia debido a las personas.**

$$Q_s = q_s \times n \times FCE$$

$$Q_l = q_l \times n$$

Ecuación 6. Ganancia de calor total por ocupantes.

Fuente: Acondicionamiento de aire, Edward Pita (2014).

Dónde:

Q_s, Q_l = Ganancias de calor sensible y latente.

q_s, q_l = Ganancias de calor sensible y latente por persona. Depende de la actividad física, Ver anexos.

n = número de personas.

FCE = Factor de carga de enfriamiento para las personas.

- **Equipos.**

La ganancia de calor que genera un equipo puede considerarse como la energía que se consume establecido en los datos de placa. Puede considerarse una ganancia latente o sensible, dependiendo del equipo. En este caso, la mayoría de equipos presentes, son del tipo oficina en el Anexo 9 se especifican estos datos.

2.8.2.4 Carga de enfriamiento del recinto.

La velocidad a la cual se debe eliminar calor del recinto corresponde a la suma neta de las ganancias netas del apartado anterior. Según Pita (2014), se emplea las siguientes abreviaturas:

- RSHG: Ganancias corregidas de calor sensible
- RLHG: Ganancias corregidas de calor latente
- RTHG: Ganancia total, la suma de las ganancias anteriores, viene a ser la carga de enfriamiento.

2.8.2.5 Carga de refrigeración.

Esta carga es mayor que la de enfriamiento, y es la referencia para seleccionar el equipo de aire acondicionado, pues se toma en cuenta ganancias por medio de transferencia de calor en ductos y aire de renovación o ventilación.

- **Ganancia de calor en ductos**

Cuando los ductos del aire acondicionado pasan por zona no climatizadas, representa una ganancia de calor sensible que se debe sumar a la RSHG. Generalmente se aproxima agregando un 5%.

- **Ventilación.**

Se admite un porcentaje de aire exterior por razones sanitarias y de confort., este aire fresco tiene condiciones de calor sensible y latente mayores que el del aire suministrado al recinto, por lo que se vuelve parte de enfriamiento. Como este exceso de calor se elimina en el equipo, pasa a ser parte de la carga de refrigeración y no del recinto.

2.8.3 Condiciones del aire de suministro.

El aire suministrado debe tener condiciones de temperatura y humedad menores al del aire del recinto, para lograr la eliminación del calor. Esto implica una menor cantidad de calor sensible y latente en él.

El balance de energía en el recinto, indica que no debe haber un cambio de energía en el sistema, para mantener las condiciones de temperatura y humedad para el confort. Para esto, esto se logra suministrando un flujo con ganancias latentes y sensibles, iguales a las generadas dentro del recinto. Esta relación se expresa mediante las siguientes ecuaciones.

$$RSHG = 1,1 \times CFM \times CT$$

$$RLHG = 0,68 \times CFM \times (w2 - w1)$$

Ecuación 7. CFM para el aire de suministro.

Fuente: Acondicionamiento de aire, Edward Pita (2014).

2.9 Carta psicrométrica.

Según Pita (2014) las propiedades del aire atmosférico se pueden representar en tablas o en forma de gráficas. A la forma gráfica se conoce como Carta Psicométrica, y su empleo es universal porque presenta una gran cantidad de información en forma muy sencilla, además ayuda a estudiar los procesos de acondicionamiento de aire.

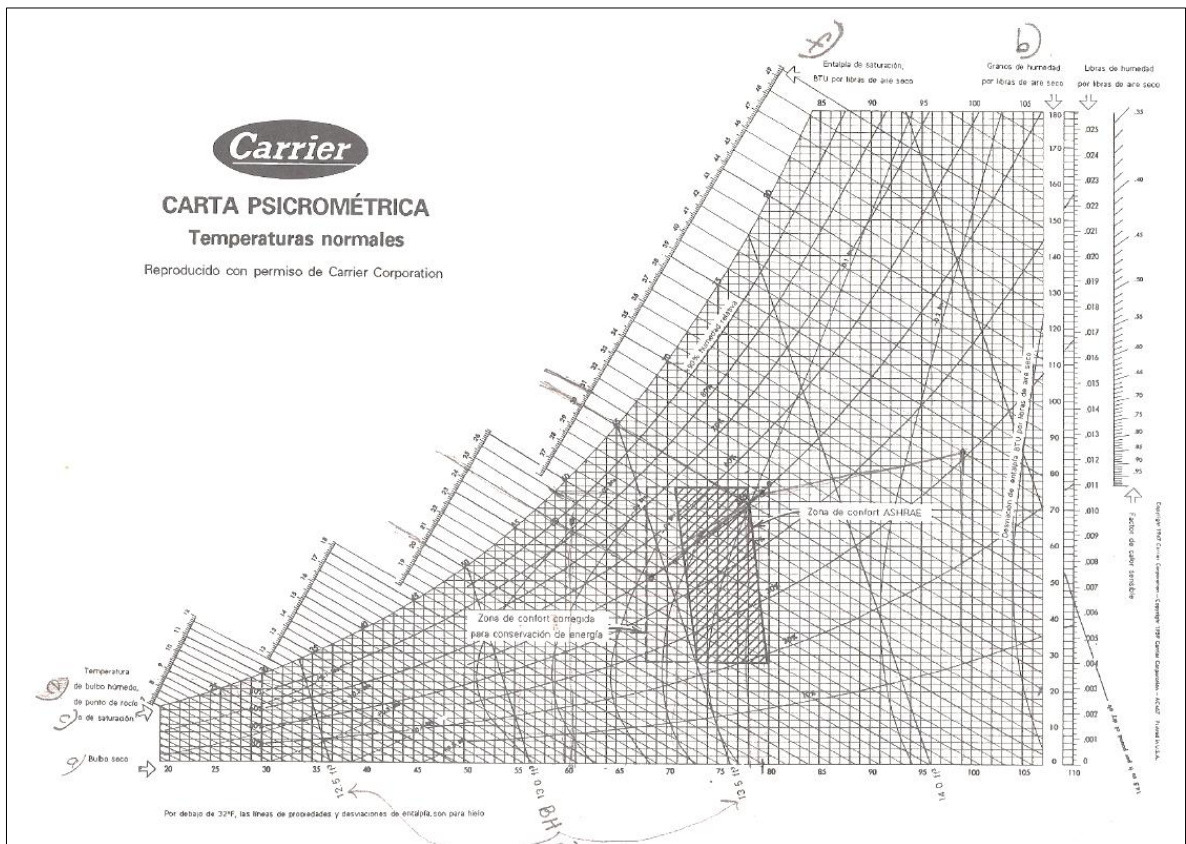


Figura 7. Carta psicrométrica.

Fuente: Acondicionamiento de aire, Edward Pita (2014).

2.10 Sistema de agua helada.

Una planta enfriadora de agua o de agua helada (*chiller*) es la encargada de enfriar y trasegar el agua hacia las unidades terminales para alcanzar el acondicionamiento del aire.

En estos sistemas se da el ciclo de refrigeración, y cuentan con compresores, condensadores, dispositivos de expansión y el evaporador. El proceso donde se retira el calor del refrigerante y logra su cambio de fase (gas a líquido), se da en el condensador, y esto es posible mediante un enfriamiento por aire o enfriamiento por agua.

Cuando el refrigerante es enfriado en el condensador, se hace pasar por un intercambiador de calor (evaporador), donde se realiza la transferencia de calor con el

agua del proceso, donde el refrigerante retira calor del agua de proceso, y provoca que esta sea suministrada a bajas temperaturas y salga de la planta hacia las unidades terminales y se logre el acondicionamiento de los recintos.

Todo este proceso es cíclico y completamente cerrado, el agua utilizada ni el refrigerante salen del circuito, sino que están en constante movimiento en torno al sistema, la cantidad de agua y carga de refrigerante utilizados, dependen de los requerimientos de tonelaje del sistema.

2.10.1 Planta de agua helada con condensadores enfriadores por aire.

En el condensador enfriado por aire el refrigerante circula a través de un serpentín y el aire pasa por el exterior de los tubos. El movimiento del se origina mediante efectos de convección natural, cuando se caliente el aire, o bien el condensador puede tener un ventilador para aumentar la velocidad de éste, con lo cual se obtiene mayor capacidad. En general los condensadores enfriados por aire se instalan en el exterior (Pita, 2014).

2.10.2 Planta de agua helada con condensadores enfriados por agua.

En un sistema enfriado por agua, se ve la necesidad de involucrar mayor cantidad de equipos que entran en la operación, aunque el principio de funcionamiento es el mismo; lograr enfriar el refrigerante a través de la transferencia de calor. En este caso, al emplearse agua para la transferencia, ésta se va a calentar por lo que es necesario un sistema que logre enfriar el agua que sale después de la transferencia de calor con el condensador. El sistema encargado de enfriar el agua proveniente del condensador es una torre de enfriamiento.

2.10.2.1 Torres de enfriamiento.

Este sistema enfría el agua proveniente de la transferencia de calor en el condensador, mediante un enfriamiento evaporativo con el aire atmosférico

El agua que sale del condensador se bombea a la parte superior de la torre de enfriamiento, y se esparce hacia abajo. La torre posee mamparas internas, que

fragmentan el agua y forman gotas pequeñas, con este sistema, se mejora la transferencia de calor, el agua enfriada en la torre se recircula y se vuelve a mandar al condensador, para que vuelva a iniciar el proceso (Pita, 2014)

Además del agua que se pierde por enfriamiento evaporativo, hay otras dos causas: la pérdida por arrastre, que se origina cuando el viento se lleva las gotas de agua y las pérdidas por purga, que se origina cuando se drena y se desecha una parte del agua de la torre, con el objetivo de evitar la acumulación de minerales.

2.10.3 Unidades terminales de ventilador y serpentín (*Fan coil*).

Esta unidad terminal tiene un elemento de intercambiador de calor cuya forma de un serpentín de tubo aletado, tiene pequeños ventiladores centrífugos, filtro de aire y gabinete. La unidad de ventilador y serpentín se puede emplear tanto para enfriamiento como para calefacción, si se le suministra agua helada o agua caliente al serpentín. Las unidades de ventilador y serpentín se fabrican con frecuencia con una abertura en la parte posterior para admitir directamente aire exterior para ventilación. Para futuras referencias a lo largo de este escrito sólo se empleará la denominación *Fan coil*.

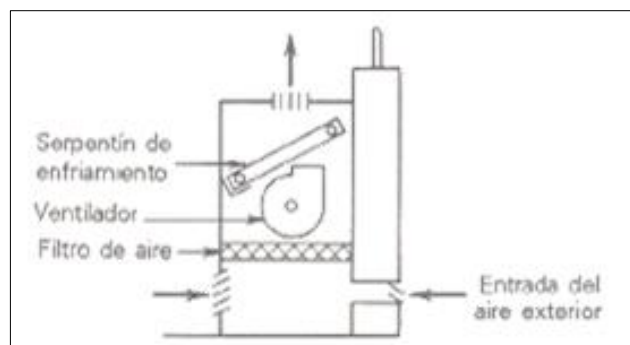


Figura 8. Unidad de ventilador y serpentín.

Fuente: Acondicionamiento de aire, Edward Pita (2014).

2.11 Refrigerantes.

Un gas refrigerante se conoce como una sustancia que pueda adsorber grandes cantidades de calor y transportarlas. Esto es posible debido a un cambio de fase; el líquido adsorbe calor cuando tiene una baja presión y cambia de fase (líquido a vapor) y lo libera cuando está en alta presión y en fase gaseosa. En la refrigeración mecánica es necesario un proceso que pueda transmitir grandes cantidades de calor, de manera económica y eficiente para que pueda repetirse de manera continua. Los procesos de evaporación y condensación de un líquido son, por lo tanto, los pasos lógicos en el proceso de refrigeración. Según SEMARNAT (2006) un refrigerante debe satisfacer dos importantes requisitos: 1. Debe absorber el calor rápidamente, a la temperatura requerida por la carga del producto. 2. El sistema debe usar el mismo refrigerante constantemente, por razones de economía y para enfriamiento continuo. No existe el refrigerante perfecto, y hay una gran variedad de opiniones sobre cuál es el más apropiado para aplicaciones específicas.

2.11.1 Refrigerantes cloro-fluorocarbonados (CFCs).

Como su nombre lo indica, los clorofluorocarbonos (CFCs) consisten en cloro, flúor y carbono. Como no contienen hidrógeno, los refrigerantes CFC son químicamente muy estables, inclusive cuando son liberados a la atmósfera. Pero debido a que contienen cloro en su composición, están dañando la capa de ozono. Permanecen en la atmósfera de 60 a 1700 años. El Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono de los clorofluorocarbonos varía de 0.5 a 1.0 (Sermanat, 2006). Algunos de estos tipos de refrigerantes se enlistan a continuación:

- R-11
- R-12
- R-113
- R-114
- R-115

2.11.2 Refrigerantes Hidroclorofluorocarbonados (HCFCs).

Los hidroclorofluorocarbonos (HCFCs) son la segunda categoría de refrigerantes que están vigentes actualmente. Aunque contienen cloro, que daña la capa de ozono, los refrigerantes HCFCs también contienen hidrógeno, que los hace químicamente menos estables una vez que suben a la atmósfera. Su potencial de agotamiento es muy bajo y varía de 0.001 a 0.11. Para los países en desarrollo está permitido su uso hasta el año 2040 (SEMARNAT, 2006). En dispositivos de refrigeración que operen con R-22, es necesario usar aceites minerales o alquibencenos. Algunos de estos tipos de refrigerantes se enlistan a continuación:

- R-22
- R-409A
- Algunas mezclas zeotrópicas: MP-39 y MP-66
- R-502

2.11.3 Refrigerantes Hidrofluorocarbonados (HFCs)

Son sustancias que contienen hidrógeno, flúor y carbono. No contienen cloro y por consiguiente no dañan la capa de ozono, su Potencial de Agotamiento de la capa de ozono es igual a cero. Algunos tipos de refrigerantes se enlistan a continuación:

- R-134a
- R-404a
- R-507

2.12 Protocolos ambientales.

2.12.1 Protocolo de Montreal.

“El deterioro de la capa de ozono pronto fue una preocupación mundial, y después de varios años de negociaciones, a mediados de 1989, se tomó un Acuerdo Internacional para regular la producción y el uso de compuestos químicos, que pudieran afectar la capa de ozono. Conocido como el protocolo de Montreal, este acuerdo importante fue un llamado a reducir de manera gradual los CFCs en los países desarrollados, que

son los mayores productores. En esta primera reunión, se hicieron varias propuestas de la forma en que se haría esta reducción. Finalmente, la más aceptada fue que, tomando como base los niveles de producción de 1986, en los países desarrollados debería de haber un desfasamiento completo para el año 2030. A los países menos desarrollados, se les otorgaron 10 años más para completar la transición a nuevas tecnologías. El protocolo es un esfuerzo unido de gobiernos, científicos, industria y grupos ecologistas. Coordinado por el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP), el protocolo ha sido ratificado por aproximadamente, la mitad de las naciones soberanas del mundo, lo que representa más de 90% del consumo de CFCs en el mundo” (Plazas, 2012).

Algunas de estas precauciones, tales como el reciclado de refrigerantes, tienen un impacto positivo en el ambiente, y ayudan a facilitar la difícil transición de los CFCs a sus alternativas. Los HCFCs, aunque tienen un bajo potencial de agotamiento de ozono, también están regulados como sigue:

- Producción congelada y uso limitado a equipo de refrigeración hasta el 1 de enero del 2015.
- Se permite su uso en equipos de refrigeración nuevos hasta el 1 de enero del 2020.
- Desfasamiento total efectivo al 1 de enero del 2030.

Las alternativas eran compuestas con menos contenido de cloro, llamados hidroclorofluorocarbonos (HCFC) o sin contenido de cloro, llamados hidrofluorocarbonos (HFC).

2.12.2 Protocolo de Kioto.

Ante el avance en la investigación de la problemática ambiental se determinó que evitar la destrucción de la capa de ozono no es suficiente para mitigar los efectos de la industria y procesos humanos; por eso este protocolo define según Vicente (2010), que los países de mayor desarrollo eliminen el uso de los productos HCFC para reducir

el efecto invernadero, no sólo países potencia industrial se adaptan a este compromiso, como Costa Rica.

Ante estas jurisdicciones y otras que el país toma como compromiso ambiental, se tiene el mandato internacional del reglamento de gases fluorados con el cual desde el año 2015 se comenzó la restricción del uso de HFC y CFC para que desde el año 2020 la comercialización de estos refrigerantes sea regulada al punto que obligue el cambio de sistemas fríos para el uso de refrigerantes con efecto invernadero y de producción de CO₂ menores a 2500 unidades.

Según Aguiló (1998), en el tratado de Montreal se acuerda que para el año 1996 la producción de refrigerantes de tipo Cloro-fluorocarbonados “CFCs”. Esto para evitar el deterioro de la capa de ozono a causa de la descomposición química que acontece cuando este tipo sustancias tienen contacto con el ozono y los radicales libres producto de la desintegración de estos refrigerantes. Costa Rica es un país que rige su legislación con respecto a los motivos de protección ambiental firmados internacionalmente, y reconoce la importancia de eliminar el impacto a la capa de ozono para preservar la estabilidad del planeta. Se puede resumir las disposiciones de los tratados internacionales más importantes a los cuales Costa Rica ha acordado respetar y seguir con conciencia:

2.13 Eficiencia energética en sistemas de refrigeración por compresión.

Al seleccionar equipo de refrigeración, con frecuencia más de una unidad satisface la capacidad necesaria. En estas condiciones es útil saber cuál equipo dará el mejor desempeño. La selección deseable es la unidad que produciría la mayor refrigeración con el menor consumo de energía. Determinar el punto y la aplicación en que un sistema es más eficiente que otro, permite garantizar la correcta gestión energética, desde dos puntos de vista: eficiencia energética y conservación de la energía (Pita, 2014).

Estos son algunos indicadores para determinar la eficiencia energética de los equipos de aire acondicionado: COP, EER, SEER, esta medición de eficiencia es traducida al costo que ocasionará el sistema de aire acondicionado al consumo eléctrico.

- EER: Potencia de enfriamiento/potencia eléctrica consumida en refrigeración.
- COP: Capacidad de refrigeración/consumo equivalente de potencia del compresor.
- kW/Ton: Energía consumida/ tonelada de refrigeración producida.

Estos indicadores relacionan cuántos kW térmicos proporciona el equipo por cada kW consumido; sin embargo, éstos utilizan las variables a plena carga, lo que implica que, si el equipo trabaja a menor carga, la eficiencia no será la misma.

Por otra parte, el SEER (Índice de Eficiencia Energética Estacionales) es una relación entre la producción de energía de refrigeración durante su uso anual normal entre la entrada de energía eléctrica total en vatios-horas durante el mismo periodo, es más precisa que el EER, ya que esta posibilita medir, y cuando el sistema está bajo, cargas parciales.

En general el concepto de eficiencia puede ser aplicado a un solo componente o a todo el sistema de refrigeración.

2.14 Conceptos de Iluminación.

- **Flujo Luminoso (Lm).**

Es la medida de la potencia luminosa percibida. Su unidad de medida en el Sistema internacional es el lumen (Lm).

- **Eficiencia luminosa (Lm/watt).**

Es la cantidad de luz que emite una fuente de luz por cada watt de potencia consumida. Mientras menos watts consume una lámpara y más luz emita, más eficiente es.

- **Intensidad luminosa (cd).**

Se define como la cantidad de flujo luminoso que emite una fuente por unidad de ángulo sólido.

- **Nivel luminoso (lux).**

Es la cantidad de flujo luminoso que emite una superficie por unidad de área. La unidad de medida en el SI es el lux

- **Potencia de una luminaria.**

La potencia del conjunto luminaria, dependerá de la cantidad de lámparas presentes y del tipo de balastro, quien es el encargado de suministrar la tensión y limitar la corriente. Mientras éste sea más eficiente, se reducirán las pérdidas, disminuyendo la potencia de entrada de la luminaria.

- **Nivel de luminancia mínimo según tipo de actividad.**

Los dos recintos en análisis entran en la clasificación de oficinas, dado el tipo de actividad, para este caso la cantidad mínima del nivel de luminancia según la norma mexicana NOM-025-STPS-2008 corresponde a 300 lux en el plano de trabajo (0,8 m de altura).

- **Densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA)**

Es un indicador de eficiencia energética, corresponde a la cantidad de potencia eléctrica por metro cuadrado, según la norma mexicana La NOM-007-ENER-2004: Eficiencia energética en edificios no residenciales se establece como valor máximo: 14, para edificios de oficinas corporativas.

CAPÍTULO III. DESARROLLO DEL PROYECTO.

DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO EN EDIFICIOS DE OFICINAS.

3.1 Caso en estudio.

3.1.1 Descripción de las operaciones de P&G en Costa Rica.

Esta multinacional ejecuta operaciones en el país desde 1999, como parte de una reorganización, que buscó más eficiencia en los negocios, se decidió que, en ese entonces, Costa Rica manejaría las finanzas de todas sus sedes, Latinoamérica y Norteamérica.

En la actualidad, se ha dado un fuerte crecimiento, tanto en operaciones como en personal, debido al talento humano que la empresa encontró en Costa Rica, entre otras variables. Logrando alcanzar más de 1500 colaboradores y tres centros de *expertise*, colocando al país como la única locación donde se ha podido mezclar los servicios financieros, planeación e informática en un solo lugar. Además de ofrecer servicios a Norteamérica, que es el 50% de las operaciones de la empresa.

3.1.2 Ubicación de las instalaciones de P&G.

La multinacional forma parte de la lista de empresas ubicadas en el parque empresarial Forum 1, localizado en Pozos de Santa Ana. Complejo con 68 000m² de extensión, y con presencia de 52 empresas. Catalogado como uno de los parques diseñado con altos estándares de infraestructura y tecnología.

3.1.3 Descripción general de los edificios de Procter & Gamble.

Las oficinas de P&G efectúan operaciones en tres edificios de 4 plantas del complejo Forum 1. Estos edificios están denominados como A, B, C, y según sea el número de planta, se le agrega el dígito correspondiente, especificado en la Tabla 1.

Tabla 1. Codificación de los edificios de P&G y sus respectivos pisos.

Nombre edificio	Edificio A	Edificio B	Edificio C
Piso 1	A1	B1	C1
Piso 2	A2	B2	C2
Piso 3	A3	B3	C3
Piso 4	A4	B4	C4

Fuente: Elaboración propia.

El dueño actual de las instalaciones es Grupo IMPROSA, que, al actuar como ente arrendador, está encargado de brindar los servicios establecidos según contrato.

Las instalaciones están conectadas internamente, por lo que el acceso a un edificio permite el ingreso a todos los demás. Así mismo, existen ciertas diferencias entre estos, a pesar de que la aplicación sea la misma; oficinas administrativas, en unos se encuentran recintos únicos (cafetería, gimnasio, data center, enfermería, entre otros).



Figura 9. Edificios de P&G

Fuente: Brindado por ControlSoft.

3.1.4 Datos climáticos de la ubicación.

El sitio de estudio es Pozos de Santa Ana (9°56'46.4" Latitud Norte y 84°11'37.2" Longitud oeste). Dado el enfoque del proyecto, es necesario tener un resumen climático, con valores máximos y mínimos, de temperatura, humedad, entre otras variables. Datos que se obtuvieron mediante el Instituto Meteorológico Nacional (IMN), los datos que se obtuvieron fue un promedio de las variables mencionadas, segmentados por mes, en un periodo de 1996 hasta 2014, para una latitud de 9°57 N y una longitud de 84°08 O, a una altitud de 997 m.s.n.m. Estos fueron los datos más cercanos que se pudo obtener mediante el IMN, se consideran precisos y completamente aprovechables.

INSTITUTO METEOROLOGICO NACIONAL																
DEPARTAMENTO DE INFORMACION																
PROMEDIOS MENSUALES DE DATOS CLIMATICOS																
(estaciones automáticas)																
ESTACION : 84 195 AEROP. PAVAS OESTE			Latitud: 09 ° 57 ' N Longitud: 84 ° 08 ' O Altitud. 997 m.s.n.m													
Elementos	Periodos		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom.	Total
LLUVIA	1996	2014	10.2	12.8	11.7	66.5	223.3	204.3	157.8	205.3	297.2	279.1	132.5	30.2	135.9	1630.9
TEM.MAX.	1996	2014	26.1	26.9	27.8	28.6	27.9	27.5	27.1	27.4	27.3	26.5	26.1	26.0	27.1	
TEM.MIN.	1996	2014	18.1	18.1	18.3	19.0	19.1	18.9	19.1	18.8	18.3	18.4	18.5	18.4	18.6	
TEM.MED.	1996	2014	22.1	22.5	23.1	23.8	23.5	23.2	23.1	23.1	22.8	22.5	22.3	22.2	22.9	
HUMEDAD	1996	2014	68.6	67.0	66.7	68.7	77.8	80.3	77.3	78.7	83.3	84.1	78.6	71.9	75.3	
VIENTO VEL.	1996	2014	22.5	22.1	20.8	17.8	12.6	10.9	13.2	11.8	8.9	9.3	13.8	19.2	15.2	
RADIACION	1996	2014	14.8	15.8	16.5	15.9	12.5	12.3	12.8	12.4	12.7	11.9	10.9	12.7	13.4	
PRESION	1999	2015	902.7	902.6	902.4	902.3	902.2	902.2	902.5	902.4	902.3	902.0	901.7	902.4	902.3	
VIENTO DIR. PREDOMINANTE			3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		Total
Promedio días con lluvia >= 0.1 mm.			3	4	4	9	21	22	20	22	25	25	18	8	183	

Figura 10. Resumen de datos climáticos promedio de 1996 al 2014.

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional (IMN).

3.1.5 Unidad de análisis del proyecto.

Por facilidad de accesos, y recomendaciones de la empresa, se decidió realizar este estudio en el edificio B.

Es necesario tener conocimiento de la distribución de cada piso (ver Apéndice 1). Se tienen los siguientes tipos de recintos en las instalaciones del edificio B:

- Salas abiertas: Recintos extensos, existente en todos los pisos, donde se cuenta con mesas y computadoras de escritorio para que los trabajadores se posicionen y puedan realizar su labor. Hay suministro de aire acondicionado.
- Salas de reuniones o conferencias: Recintos cerrados, existentes en todos los pisos, designados a alguna actividad especial colectiva, el área es variable, existen salas grandes para algunas capacitaciones o charlas, donde se concentra un máximo de 20 personas, por otro lado, hay salas más pequeñas donde se cuenta con 2-3 personas como máximo. Hay suministro de aire acondicionado.
- Lobby: Recinto donde se encuentran los elevadores, baños, cuartos de limpieza, en todos los pisos se cuenta con un lobby. Hay suministro de aire acondicionado solo en el área abierta.
- Cafetería: Ubicado solo en el piso B1, cerca al lobby, es un área abierta. No es la cafetería principal de P&G. No hay suministro de aire acondicionado.
- Cuarto eléctrico: Hay un cuarto en cada piso, y éste alberga todos los tableros referentes a la instalación eléctrica del piso, algunas herramientas y equipo de seguridad. Hay un suministro de aire acondicionado, deficiente.
- Cuarto caliente: Solo se encuentra en el piso B1,
- Cuarto de almacenamiento:

Al realizador del proyecto se le facilitó la estadía en los edificios debido al contrato que maneja ControlSoft con P&G, así obtener el ingreso como contratista y acceso a las instalaciones.

3.1.6 Beneficiarios del proyecto.

Para efectos del proyecto, se escogió un edificio, para realizar el diagnóstico energético, con el fin de obtener resultados y establecer un formato facilitado por el realizador del proyecto, de manera que se pueda reproducir en los demás edificios de P&G, así como en otras empresas cuya operación sea en oficinas administrativas, en pro de facilitar el alcance hacia la eficiencia energética pasiva y activa, que resulta en

un ahorro energético sustentable, para disminuir costos de operación, reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), y acercar a Costa Rica al cumplimiento de los objetivos establecidos en los protocolos ambientales determinados para el 2020 (reducción en un 20% de GEI) y 2050 (reducción en 75% de GEI).

3.2 Gestión del sistema de Aire Acondicionado por parte de ControlSoft.

ControlSoft Systems tiene implementado un sistema centralizado de control (DDC) aplicado al sistema climatización, aplicado en las unidades *fan coil* basado el protocolo de comunicación BACnet/IP.

3.2.1 Control automatizado del aire acondicionado.

El control se realiza dependiendo del tipo y cantidad de recinto a climatizar, debido a la variación de cargas térmicas entre distintos recintos.

Una vez conocida la descripción de los tipos de recintos, se puede conocer cómo se realiza el control en ellos.

En los equipos de ventilador y serpentín que suministran aire a las salas abiertas, solo se controla el flujo de agua helada a la máquina, mediante un actuador conectado a una válvula de tres vías.

En los equipos Fan Coil que suministran aire a las salas de reuniones, el control se realiza mediante un variador de frecuencia conectado al ventilador de la máquina, además se logra controlar la apertura del dámper mediante un actuador, para lograr manipular el flujo de aire en cada recinto.

Los gabinetes de control se encuentran ubicados en el entre cielo, y en este se encuentra la alimentación de los actuadores, de los motores, y el controlador lógico programable VLC, *Alerton* este se comunica a un dispositivo llamado BCM que se

encarga convertir el protocolo *BACnet* a *Ethernet*, gestionado desde una pantalla ubicado en el Departamento de Ingeniería y Operaciones.

3.2.2 Controladores PID en funcionamiento.

En cada recinto se tiene sensores de temperatura, que logran captar esta variable y trabajarlo bajo los principios de un controlador Proporcional Integral Derivativo (PID), con esta lógica se logra mantener los niveles de temperatura dentro del rango de confort en todos los recintos.

3.2.2.1 Controlador PID en salas cerradas.

Una máquina Fan Coil puede suministrar aire a varias salas de reuniones. Como se mencionó, en estas máquinas el control se da mediante un variador de frecuencia, y por el cierre o apertura del *dámper*, mediante un actuador. En este caso se tiene un controlador PID para cada sala o recinto suministrado de aire, se toma como variables de entrada la temperatura medida, el *set point* (temperatura dentro del rango de confort) y como salida una señal que va directo al actuador que controla el *dámper* de cada recinto.

Así mismo, hay un controlador PID por máquina Fan Coil, y en este caso, las variables de entrada son, un *set point* (temperatura dentro del rango de confort), además de un promedio de las temperaturas de las salas suministradas, para obtener una señal de salida que va directo al variador de frecuencia.

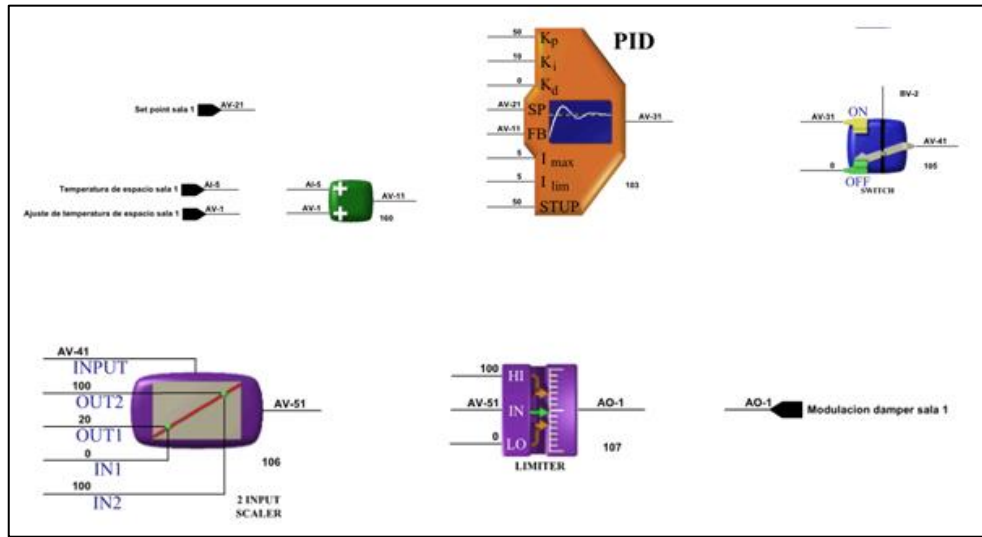


Figura 11. Programación de controlador PID para salas cerradas. (1)

Fuente: Brindado por ControlSoft.

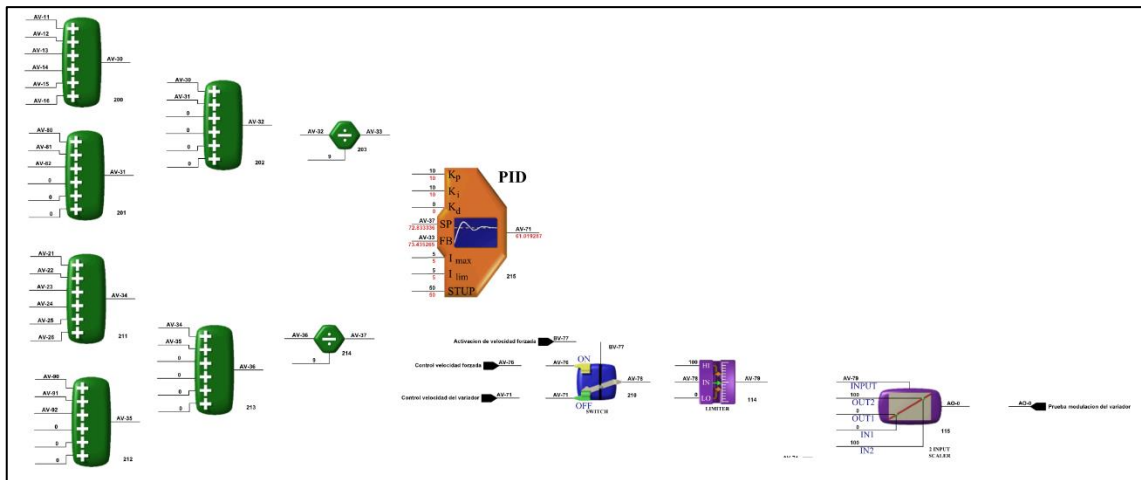


Figura 12. Programación del controlador PID para salas cerradas (2).

Fuente: Brindado por ControlSoft.

3.2.2.2 Controlador PID en salas abiertas.

En las salas abiertas, el controlador PID toma como variables de entrada la temperatura sensada del recinto, y la temperatura del *set point* (dentro del rango de

confort), y se tiene como salida una señal que controla el actuador para la apertura o cierre de la válvula helada.

3.3 Modelo metodológico genérico.

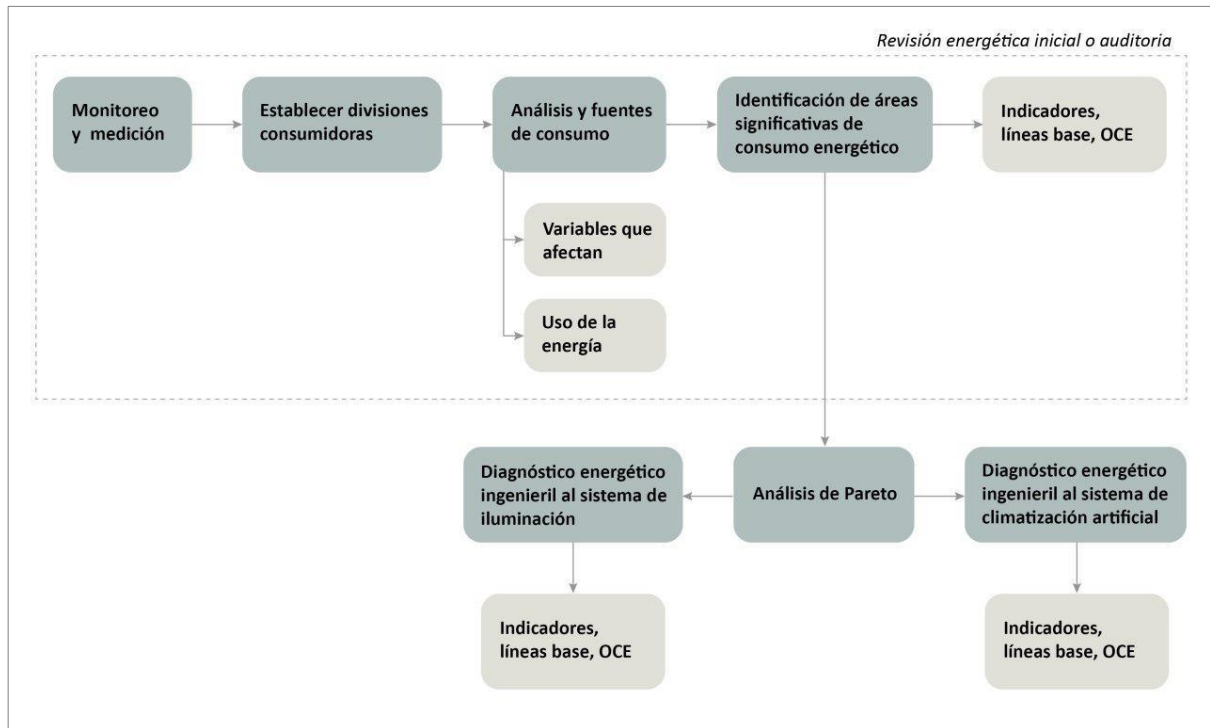


Figura 13. Modelo metodológico de un diagnóstico de edificios de oficinas.

Fuente: Elaboración propia.

3.4 Revisión energética inicial.

Como punto de partida es necesario tener conocimiento del uso, consumo, y desempeño, así como las variables que lo impactan. Este es un proceso de desarrollo y análisis para detectar patrones de consumo, identificar áreas que concentren el uso significativo, así tener resultados y establecer un punto de referencia para identificar oportunidades de mejora, y generar un plan de acciones desde el punto de vista pasivo y activo, con metas claras, que conducirá a una reducción de la energía consumida.

Este es un proceso que se debe realizar periódicamente para identificar variaciones significativas en la operación. El procedimiento por seguir fue basado en la metodología propuesta para lograr un modelo replicable en otras instalaciones; edificios corporativos de oficinas con actividad administrativa.

Una vez detectadas las áreas de consumo significativo, se realizará un análisis a profundidad, con el fin de lograr una mejora en el desempeño energético de las instalaciones.

3.4.1 Análisis de fuentes y consumos de la energía.

En un inicio, las operaciones de P&G se realizaban en 5 edificios (A, B, C, D, E) los cuales son propiedad de Grupo IMPROSA. El suministro eléctrico es brindado por la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), se cuenta con dos acometidas principales, donde se ramifican la alimentación de los demás tableros. La acometida 1 alimenta el bloque de edificio A, B y parte del C, mientras que la acometida 2 alimenta parte del edificio C, y los edificios D y E. Debido a esto, la facturación eléctrica que recibe Grupo IMPROSA es correspondiente a las dos acometidas, que alimentan los 5 edificios.

Recientemente, P&G ha migrado su personal a los edificios A, B y C. De esta manera, se encuentran libres los edificios D y E, y queda a disposición de Grupo IMPROSA para un posterior arrendamiento a otra empresa. Sin embargo, es necesario diferenciar los consumos por parte de las empresas arrendatarias, ya que comparten acometidas. Debido a esto, ControlSoft ha implementado un sistema de medición de consumos (KWh, KW, tensión, corriente y factor de potencia), con el objetivo de brindar datos de

energía y potencia para que Grupo IMPROSA pueda cobrar a las empresas por el consumo respectivo.

3.4.1.1 Consumo de energía.

El sistema de medición mencionado, toma en cuenta los principales consumidores de energía del edificio, para este caso, el edificio B cuenta con los siguientes consumidores de energía, establecidos de la siguiente manera:

- *Chiller 1B*
- *Chiller 2B*
- Área común
- Elevadores
- Piso B1
- Piso B2
- Piso B3
- Piso B4
- UPS
- Bombas suministro de agua
- Servicios generales

Es necesario aclarar ciertos aspectos a considerar en algunas de las divisiones de medición.

Los datos registrados en las divisiones: Piso B1, B2, B3, B4, toman en cuenta el consumo de iluminación, tomacorrientes, Máquinas Fan Coil, y alimentación de actuadores para estas máquinas, para cada uno de los cuatro pisos. Esto quiere decir, que la medición se realiza del tablero el cual contiene los circuitos de iluminación y tomas, y se ramifican a otros tableros que alimentan los demás equipos consumidores mencionados, y ocurre lo mismo para cada uno de los pisos.

Esto significa que, para lograr obtener un valor específico del consumo en esta división, por ejemplo, para la iluminación, fue necesario aplicar una estrategia de medición que se mencionará más adelante.

Para el caso de las plantas enfriadoras de agua, esto contempla el consumo de las bombas de recirculación del agua helada.

La tarifa vigente por parte del proveedor de electricidad corresponde a Media Tensión (MT), lo cual contempla 3 periodos de cobro. Esto se discutirá en detalle en el apartado de demanda máxima, para el caso del consumo en kWh, se tomará el dato brindado por el medidor al final de cada mes.

De esta manera, se realizó un tratamiento a esos datos para lograr obtener los consumos del edificio B de manera segmentada en espacios o entes consumidores de energía. Los datos fueron recolectados desde marzo del 2017, ya que a partir de este mes se obtuvieron mediciones consistentes, por lo que se tiene un historial de 5 meses, mostrados en la Tabla 2.

Tabla 2. Consumo de energía del edificio B por división consumidora en un período de cinco meses.

Consumo Edificio B (KWh)												
Mes	Chiller 1B	Chiller 2B	Área común	Elevadores	Piso B1	Piso B2	Piso B3	Piso B4	UPS	Bombas	Servicios generales	TOTAL
Marzo	18374,0	1934,2	3505,2	904,0	6936,4	4228,9	4672,9	5018,3	2241,2	947,3	10495,5	59258
Abril	21774,1	2582,3	3750,7	925,0	7112,4	4741,2	4358,6	4803,5	2755,5	870,2	12029,2	65703
Mayo	29177,6	5016,0	4143,8	1180,6	7407,3	5295,8	5374,7	5104,4	3471,5	1062,7	13052,2	80287
Junio	18397,2	18504,8	4264,7	1177,4	7254,0	5252,1	5413,8	4926,8	1202,6	1025,4	12910,9	80330
Julio	9896,7	21078,9	3914,0	1084,9	7276,7	4864,4	4552,9	4306,7	1232,2	1026,1	12495,5	71729

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel.

En el caso de la energía consumida (KWh), esta se registra por el sistema de medición y se almacena un acumulado, tal como lo realiza un medidor, así mediante diferencia, se puede obtener los datos de consumo en KWh para un mes.

Para una mejor interpretación de los datos, se han graficado estos resultados, de manera que en la Gráfica 1 se muestra el consumo total por mes para los meses en análisis.

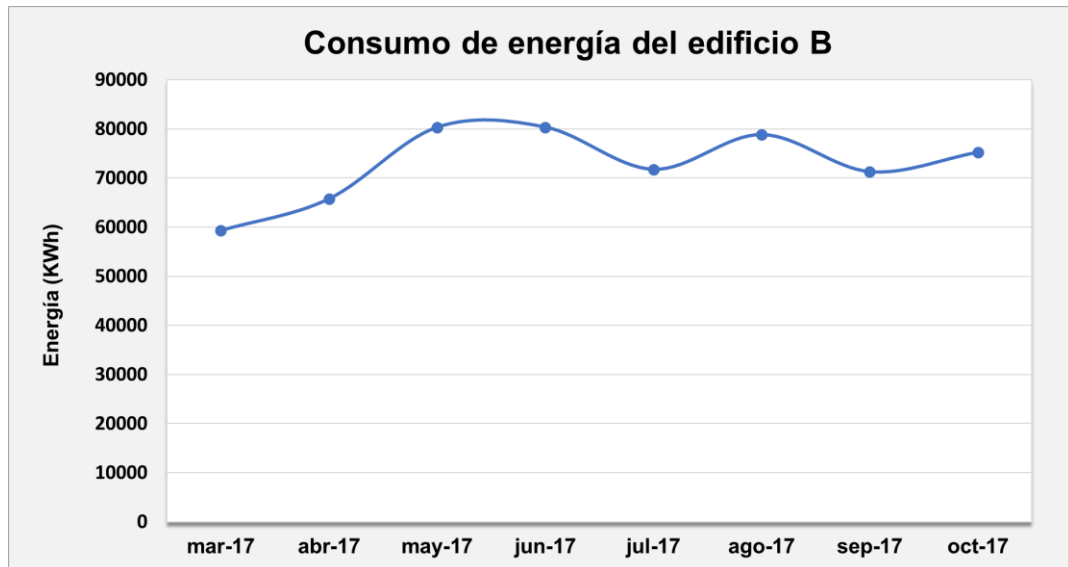


Gráfico 1. Perfil energético del edificio B en un período de ocho meses.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel.

Se observa que en el consumo de energía mensual no se detectan picos representativos, sino un incremento del consumo para los meses de mayo y junio. Se puede afirmar, aunque no en su totalidad, que en los meses de marzo y abril se registraron datos menores, debido a días feriados y semana santa. Pues los equipos consumidores representativos, como los industriales, dejan de operar.

Ahora bien, para análisis por división consumidora, se tiene la representación en el Gráfico 2. Se muestra la energía consumida en cada mes, debido a los ya mencionados entes o divisiones.

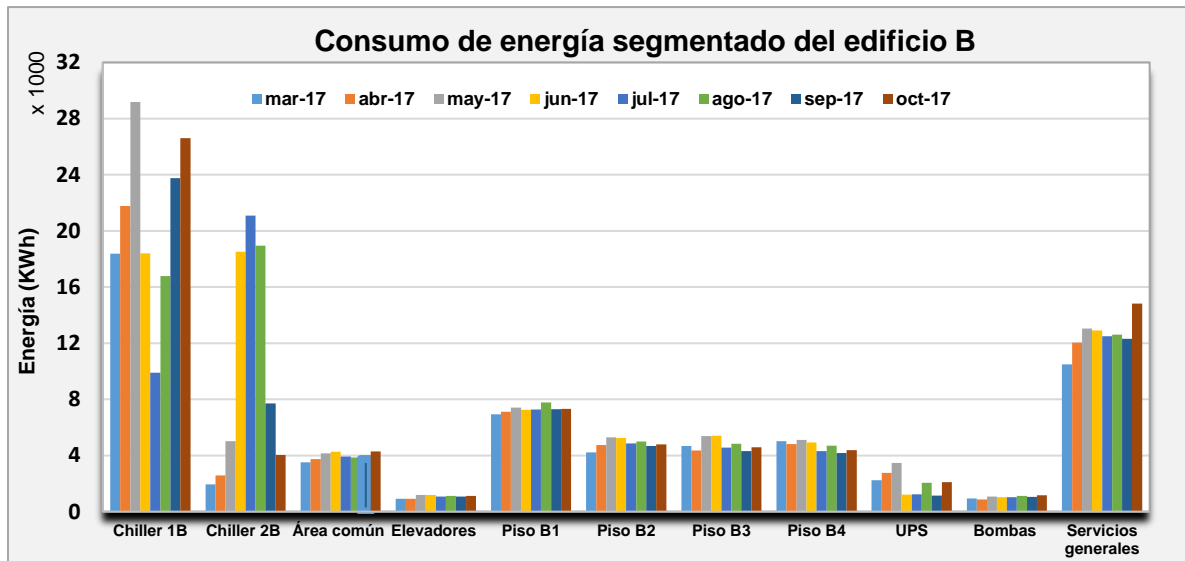


Gráfico 2. Consumo segmentado de energía del edificio B en un período de 8 meses.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel.

Es claro lo que se observa; todas las divisiones a excepción de las plantas enfriadoras de agua (*chillers*) mantienen un consumo cercano entre todos los meses, al menos no con diferencias abismales.

El caso particular de los *chillers* ocurre de la siguiente manera; en los primeros meses, parecería que el 2B es respaldo del 1B (dados los registros de consumo), sin embargo, el *chiller 2B* registra un alza de energía a partir del mes de junio, disminuyendo la intervención del *chiller 1B*, a tal punto que, para el mes siguiente, el 2B registra un consumo mayor que el 1B. Esto evidencia una alternancia, y no está definida una planta de respaldo, sino que hay una alternancia de operación para una misma jornada.

3.4.1.2 Demanda máxima.

Por definición, la demanda es la sumatoria de cargas eléctricas de los equipos, que coinciden en operación en el instante que el analizador de energía toma el registro de potencia activa (KW), consumido por el edificio, también está segmentado, al igual que el consumo de energía, y estos datos se toman en intervalos de 15 minutos,

programado en el sensor, de esta manera mediante el tratamiento de datos realizado en hoja electrónica, se puede calcular el valor máximo de esos datos, para el mes correspondiente y para la división consumidora, de esta manera, se calcula lo que sería la demanda máxima. Se determinaron las demandas máximas registradas según el periodo de cobro (punta, valle, noche) que a fin de cuentas es lo que el proveedor de electricidad pone al cobro. La siguiente tabla describe las horas al día en que se pone en cobro cada periodo

Tabla 3. Horarios designados a los periodos de cobro en la tarifa Media Tensión.

Periodos de cobro	Horario	Horas al día
Periodo Punta	10:01 - 12:30 horas 17:31 - 20:00 horas	5
Periodo Valle	6:01 - 10:00 horas 12:31 - 17:30 horas	9
Periodo Nocturno	20:01 - 6:00 horas	10

Fuente: Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL)

Cada periodo de cobro presenta un costo distinto, de esto se hablará en detalle en el apartado de facturación eléctrica. El Grafico 3 muestra los registros de demanda máxima para 5 meses de análisis. Se logra observar que los periodos con mayor demanda registrada corresponden al de Valle y Punta, caso contrario para el período Nocturno, además se observa un aumento casi lineal de esta demanda, para periodo Valle y Punta, de esta manera se obtiene el máximo valor en demanda registrado para el mes de julio, en el período Valle.

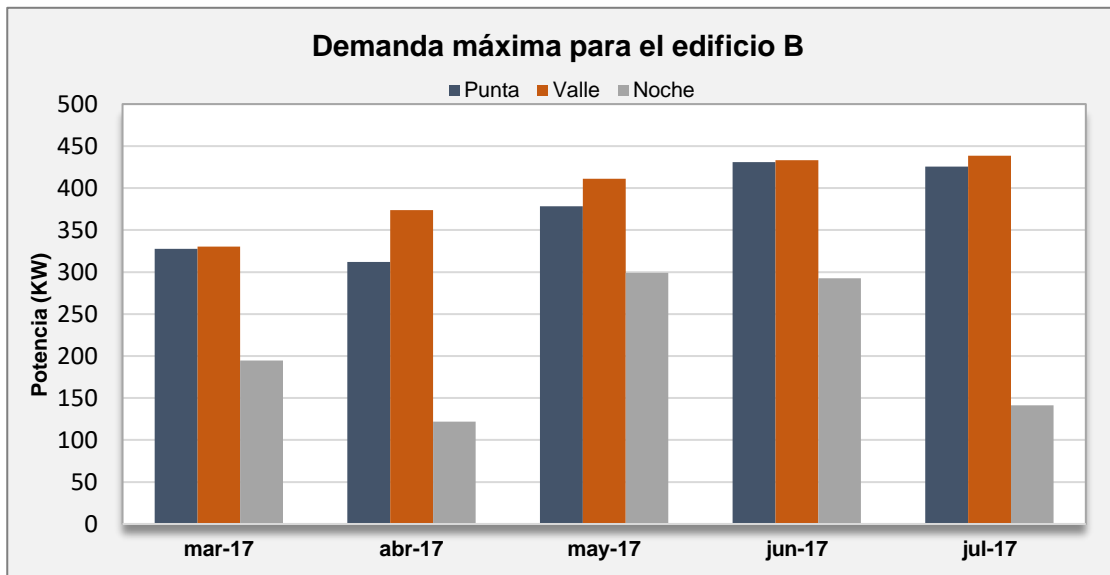


Gráfico 3. Demanda máxima registrada según período de cobro del edificio B

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel.

Dada la actividad en los edificios, las jornadas laborales son de 8 horas al día, sin embargo, algunos trabajadores permanecen hasta altas horas de la noche. Es conveniente pensar que el período Valle sea el registrado con mayor demanda, pues según lo observado en sitio, las horas de mayor actividad por parte de los trabajadores corresponde en gran parte a ese período.

Para un análisis por división consumidora, se hará una distinción de las demandas máximas registradas para los tres períodos, representado gráficamente para facilitar la interpretación.

Hay sistemas programados para iniciar operación a una hora definida, tal es el caso de las plantas enfriadoras de agua, y máquinas *fan coil* presentes en todos los pisos. Mientras que, para los demás equipos, dependerá de la demanda requerida por el usuario, por ejemplo: elevadores, iluminación, tomacorrientes, entre otros.

Tabla 4. Horarios programados para los equipos de climatización

Equipo	Horario programado
Plantas enfriadoras de agua	6:15am a 6:30pm
Unidades <i>fan coil</i> .	7:00am a 5:00pm
	6:00am a 5:00pm
	6:40 am a 5:00pm

Fuente: ControlSoft Systems.

El comportamiento de las gráficas indica la demanda máxima registrada solamente para la división especificada, es decir, no implica una coincidencia de cargas. Ahora bien, al tomar en cuenta esa coincidencia de cargas, por parte de las divisiones consumidoras, el valor pico registrado corresponderá a la demanda máxima cobrado para el mes respectivo. Desde otro punto de vista, si se logra disminuir las demandas máximas registradas en las divisiones consumidoras, es más probable que se logre una reducción en la coincidencia de cargas eléctricas, lo que reducirá la demanda máxima cobrada.

Si se observa el comportamiento de las divisiones: Área común, Elevadores, Piso B1, B2, B3 y B4, se encuentra una tendencia gráfica uniforme entre los meses en análisis, así como para los tres periodos, esto resulta favorable, pues podría considerarse un comportamiento similar para los próximos meses, lo que mantendría controlado la coincidencia de cargas en pro de reducir el pico de demanda, al menos en esas divisiones consumidoras.

Por otro lado, al observar el comportamiento de los *chillers* se percibe una variación de la demanda máxima registrada, siendo de consideración para el 2B. En este *chiller* se distingue un incremento de en los períodos Punta y Valle, siendo estos períodos, los más costoso, en términos monetarios, resulta importante prestar atención a lo detectado. A pesar del incremento del 2B, el *chiller* 1B registra tan sólo una ligera

disminución (en período Punta y Valle), mientras que, para el período nocturno, se da una mejor disminución, aunque, sin ser significativo.

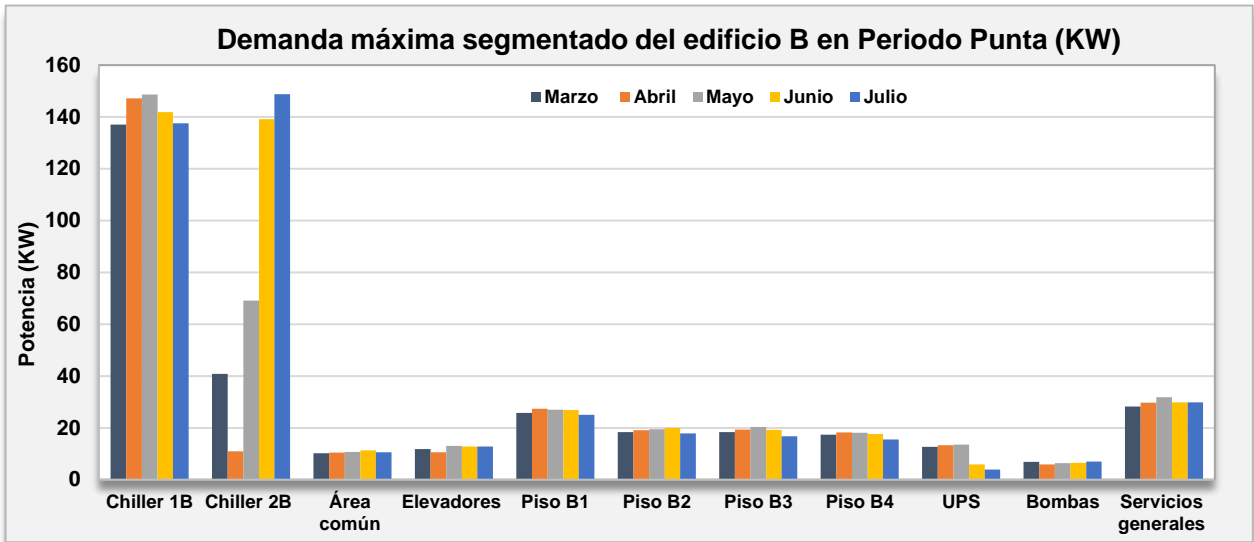


Gráfico 4. Demanda máxima mensual segmentada del edificio B en período Punta.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel.

El período Punta abarca 5 horas al día, distribuido desde las 10:01 - 12:30 horas y las 17:31 - 20:00 horas. Las horas correspondientes a la mañana, coincide con uno de los períodos de mayor actividad de los trabajadores, (Mayor cantidad de salas en uso, reuniones, entre otros) así como por condiciones climáticas, se puede dar un incremento en la carga térmica que pudiera llevar al *Chiller* a un alto porcentaje en su perfil de carga, provocando mayores consumos.

El período Valle abarca 9 horas al día, desde las 6:01 - 10:00 horas y las 12:31 - 17:30 horas. Horario que al igual que el período anterior, coincide con los períodos de mayor actividad de los trabajadores, pero de una manera más amplia, dado el horario de trabajo en las oficinas, hace que este período sea el más abarcado, en las operaciones de una jornada laboral. Otro aspecto por considerar es el arranque de los equipos, pues esto se realiza en tempranas horas de la mañana, y contempla una alta

coincidencia de cargas eléctricas, que se registran en el período Valle, por lo que es coherente observar las mayores demandas de todas las divisiones, para este período.

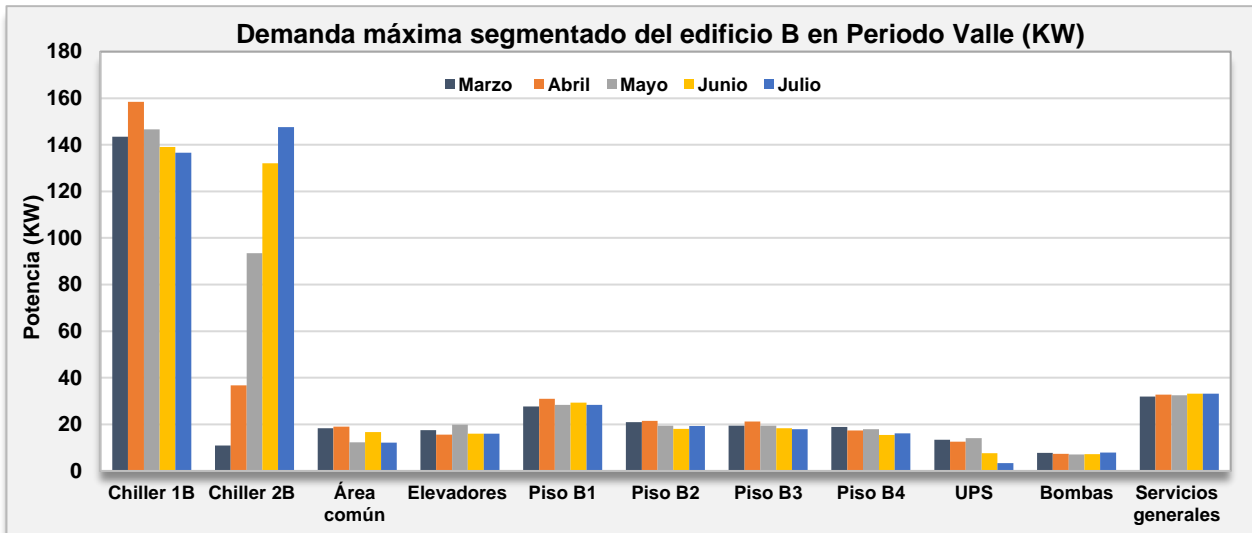


Gráfico 5. Demanda máxima mensual segmentada del edificio B en período Valle.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel.

El período nocturno, abarca 10 horas al día, desde las 20:01 - 6:00 horas, es el período más extenso puesto al cobro, aunque resulta ser el más económico. Dado el horario de operación de las oficinas, hay poca coincidencia con este período, a no ser de ciertas excepciones, que haya ocurrido algunos días del mes, y por infortunio, quedó registrado un valor pico.

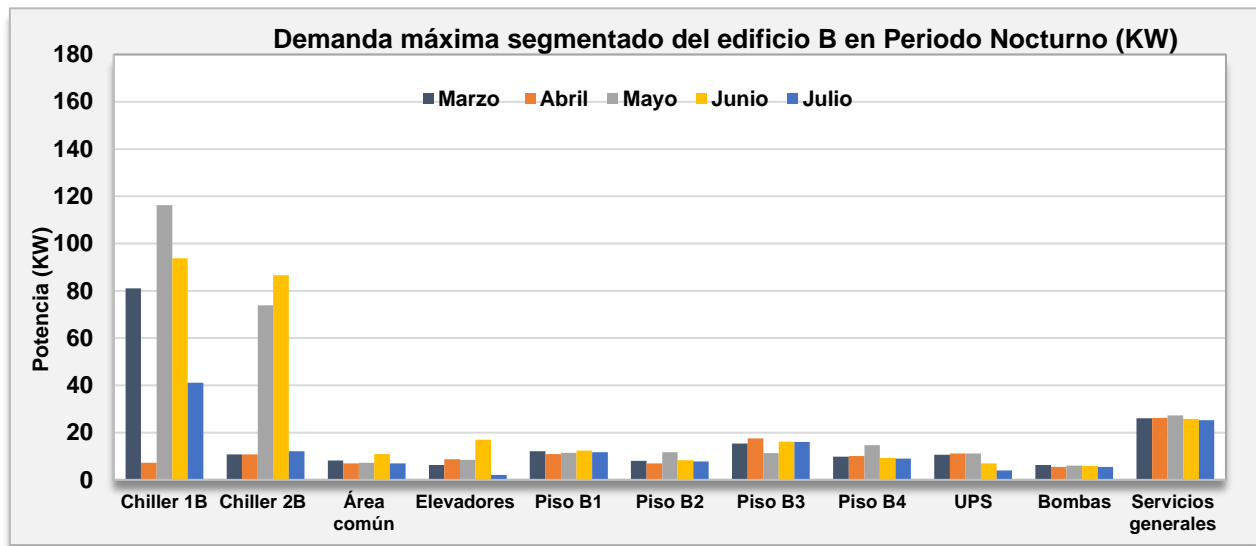


Gráfico 6. Demanda máxima mensual segmentada del edificio B en período Nocturno.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel.

3.4.1.3 Segmentación del consumo de los Pisos B1 al B4.

Tal como se comentó en la sección 3.4.1.1, las divisiones consumidoras denominadas Piso B1 hasta el Piso B4, conlleva la alimentación de distintas cargas, por lo que la medición registrada contempla el consumo de todas estas desde el punto de vista de energía, mientras que, desde el punto de vista en demanda, la medición contempla la coincidencia de cargas, de cada equipo o elemento consumidor. Que, en este caso, se hace la distinción de cada uno, y se enlista a continuación (aplica para todos los pisos).

- Circuito de iluminación.
- Circuito de tomacorrientes.
- Tablero de alimentación para unidades *fan coil*.

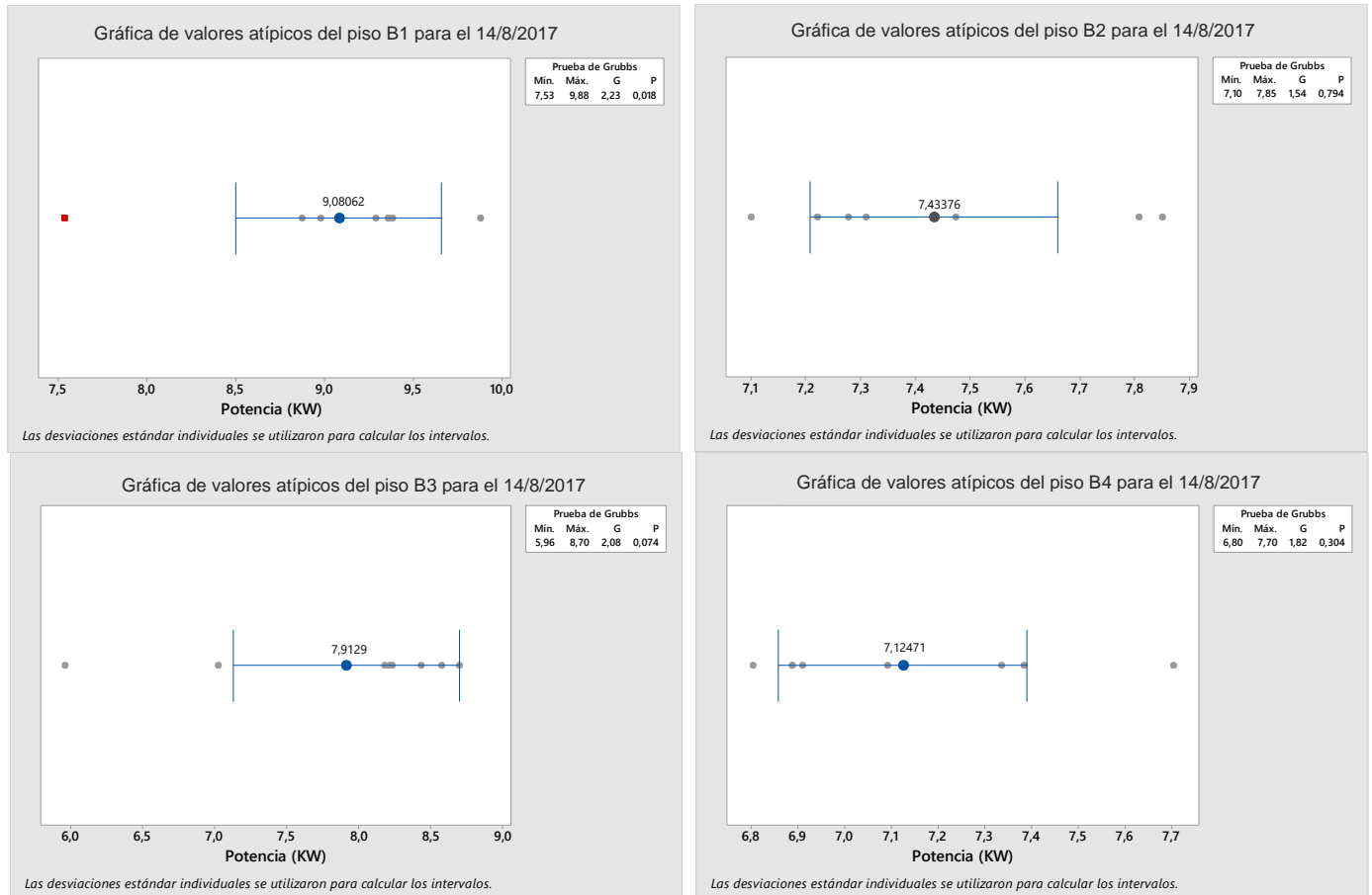
El procedimiento común para lograr segmentar estos consumos es mediante mediciones a los conductores de alimentación de cada uno de los elementos en horas

de operación. Sin embargo, por políticas de la organización, se imposibilitó realizar este proceso. Por lo que se aplicó algunas estrategias para lograr segmentar estos consumos demandados.

Fue necesario calcular la potencia instalada tanto en luminarias como en equipos *fan coil*,

Los equipos *fan coil* trabajan en horarios programados, e inician alrededor de las 7:00 am (no se aplica un arranque secuencial) y trabajan continuamente, hasta aproximadamente, las 17:30 horas, a excepción cuando previamente se haya solicitado algunas salas climatizadas para después de esa hora. Esto quiere decir que, por lo general, al empezar las 18:00 horas, el medidor sólo registra consumo del circuito de iluminación y tomacorrientes según la demanda. De esta manera, se establecieron días estratégicos para hacer un recorrido tomando nota de los equipos conectados a tomacorrientes, en todos los pisos, así estimar una potencia conectada en este circuito, y por diferencia con la potencia registrada por el medidor, lograr obtener el valor de potencia activa (kW) demandada por la iluminación. Ahora bien, para lograr obtener esa diferencia, fue necesario obtener un promedio de los datos de potencia detectado después de las 18:00 horas, sin embargo, el medidor presentó ciertos picos y bajas registrados, Por lo que se hizo un análisis de valores atípicos de los datos registrados en cada piso y lograr estimar con certeza tal promedio calculado.

Tabla 5. Estudio de valores atípicos de la potencia activa registrada en los pisos del edificio B a las 18:00 horas.



Fuente: Elaboración propia. Minitab 18

El resultado obtenido es un estimado que logra cuantificar el consumo de potencia activa en cada piso, referente a la iluminación.

Para el caso de las máquinas *fan coil*, al operar continuamente en el horario programado, se puede estimar la potencia consumida, como la que dicta el dato de placa del motor empleado en cada uno, una potencia de salida que varía entre 1 y 1 1/2 hp, (Ver tabla, Apéndice 9) con una eficiencia del 80,5%. De la cantidad de máquinas por piso, se obtiene el resultado de potencia activa para estos equipos.

Tabla 6. Determinación de la demanda de potencia activa en para cada piso.

Elemento consumidor	Piso B1	Piso B2	Piso B3	Piso B4
Iluminación + tomacorrientes (kW) a las 18:00 horas	9,08	7,43	7,91	7,12
Tomacorrientes a las 18:00 horas (kW)	4,05	2,79	4,23	3,19
Iluminación (kW)	5,03	4,64	3,68	3,93

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel.

Tabla 7. Determinación de la potencia demandada y energía promedio de los elementos consumidores de los pisos B1-B4, para un mes.

Elemento consumidor	Piso B1	Piso B2	Piso B3	Piso B4
Unidades <i>fan coil</i> promedio (kW)	9,45	9,45	9,85	9,85
Iluminación promedio (kW)	6,00	2,60	2,80	2,90
Tomacorrientes promedio (kW)	5,03	4,64	3,68	3,93
Unidades <i>fan coil</i> promedio (kWh)	2599,42	2599,42	2707,73	2707,73
Tomacorrientes promedio (kWh)	2130,00	923,00	994,00	1029,50
Iluminación promedio (kWh)	1571,29	1448,94	1149,56	1229,14

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel.

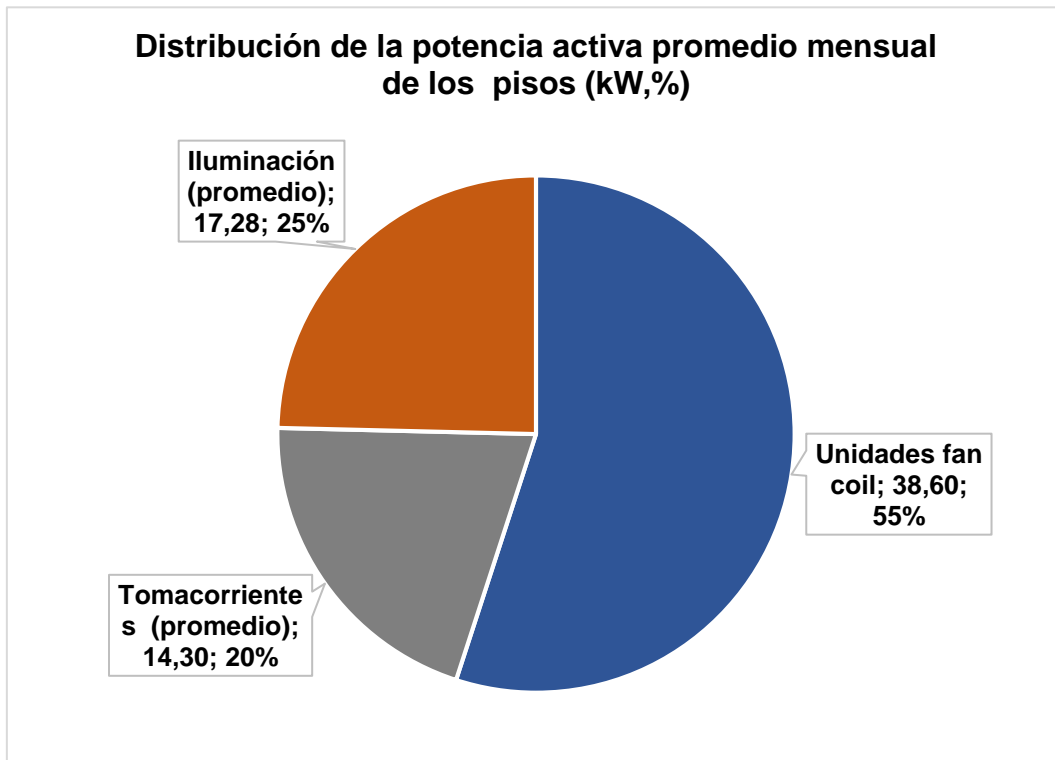


Gráfico 7. Distribución de la potencia activa promedio de los pisos del edificio.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel.

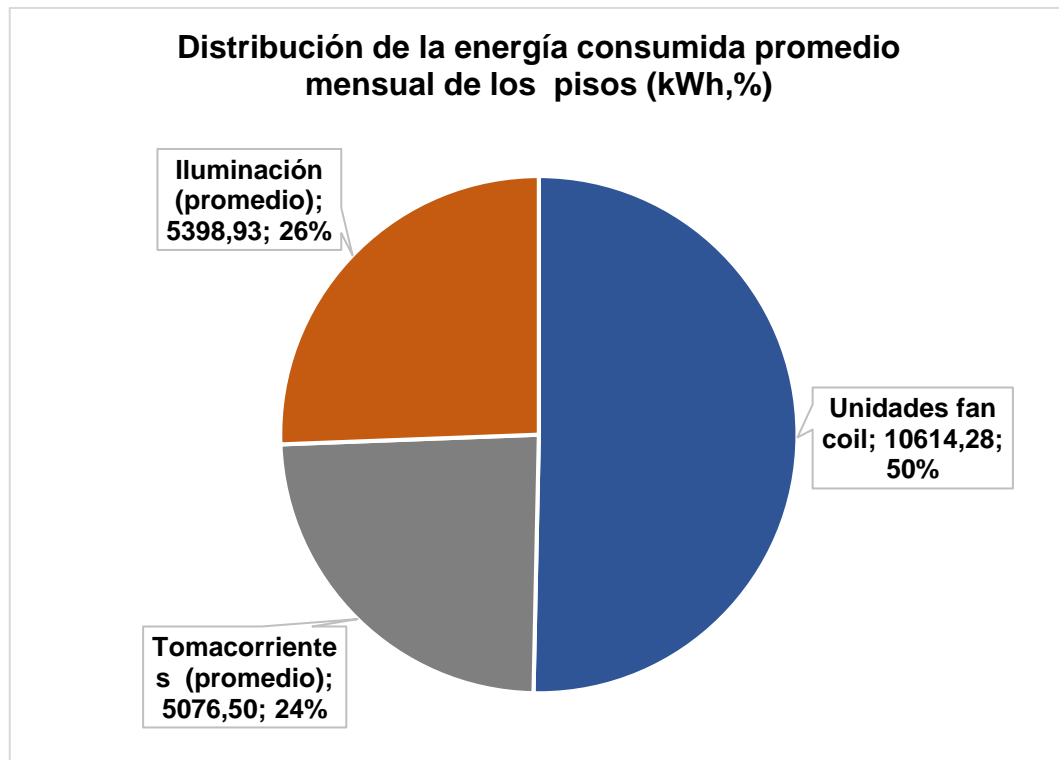


Gráfico 8. Distribución del consumo energético promedio en un período mensual.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel

3.4.1.4 Facturación eléctrica del consumo del edificio B.

El proveedor de electricidad encargado de suministrar es la Compañía Nacional de Fuera y Luz (CNFL), y se tiene una tarifa vigente en media tensión (MT) donde el consumo está dividido en tres periodos (punta, valle, noche). Al tomar en cuenta el costo por kWh y kW para cada uno de los periodos, se puede hacer un estimado del costo eléctrico de operación mensual del edificio. Tal como lo describe el Gráfico 9.

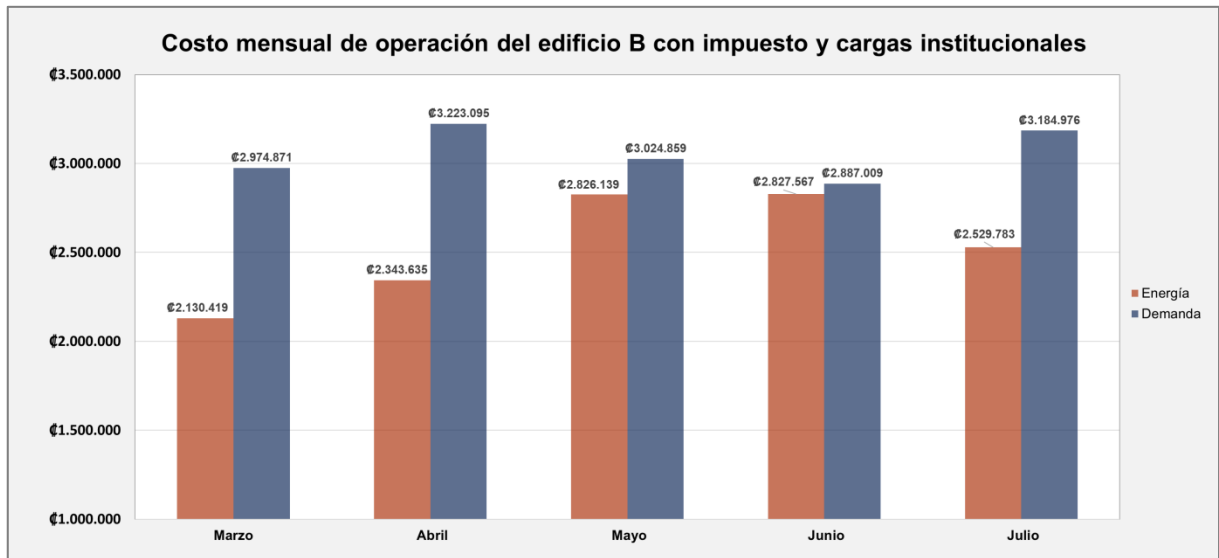


Gráfico 9. Costo estimado de operación en energía y demanda del edificio B con cargas institucionales.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel.

CNFL	Sistema de distribución	Estructura de Costos sin combustible	Tarifa (incluye CVC)	Tarifa (incluye CVC)	Tarifa (incluye CVC)	Tarifa (incluye CVC)
Categoría tarifaria	detalle del cargo	Rige del 01/01/2017 al 31/12/2017	Rige del 01/01/2017 al 31/03/2017	Rige del 01/04/2017 al 30/06/2017	Rige del 01/07/2017 al 30/09/2017	Rige del 01/10/2017 al 31/12/2017
Tarifa T-MT tarifa media tensión						
<i>Por consumo de energía (kWh)</i>						
a. Energía Punta	cada kWh	53,64	53,69	54,37	53,83	53,75
b. Energía Valle	cada kWh	26,82	26,85	27,19	26,92	26,87
c. Energía Noche	cada kWh	19,31	19,33	19,57	19,38	19,35
<i>Por consumo de potencia (kW)</i>						
d. Potencia Punta	cada kW	9 405,47	9 414,88	9 534,32	9 439,33	9 424,28
e. Potencia Valle	cada kW	6 692,29	6 698,98	6 783,97	6 716,38	6 705,67
f. Potencia Noche	cada kW	4 248,39	4 252,64	4 306,59	4 263,68	4 256,89

Figura 14. Tarifa de la categoría Media Tensión de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz.

Fuente: ARESEP.

3.4.2 Identificación y análisis de áreas de consumo significativo.

Los usos significativos de energía son aquellos que tienen un consumo sustancial y que ofrecen un alto potencial de mejora en el desempeño, por lo que son los puntos en los que la organización debe enfocar su gestión. Lo más común es identificar los usos significativos de energía, basado en aquéllos que tienen la mayor porción del consumo de energía o bien, en términos de costo. Sin embargo, también queda a criterio de la organización, y sea quién defina qué es significativo en su gestión.

Para conocer la determinación del uso de una determinada energía frente al total, se puede emplear el Principio de Pareto. Esta metodología, también conocida como la regla 80/20 es aplicada como un criterio de selección, se aplicó al consumo energético cuantificado en los meses de análisis, para el edificio B.

3.4.2.1 Principio de Pareto.

En términos estadísticos, el Principio de Pareto, supone que existe un 20% de la población que ostenta el 80% de algo, mientras que un 80% de la población sólo ostenta el restante.

Ahora, esto aplicado como criterio de determinación de un uso significativo de la energía, se puede suponer que existe al menos un 20% de divisiones de consumo que representan un 80% del consumo energético, por lo que estos son denominados como pocos vitales. Una herramienta gráfica para representar este concepto es mediante el Diagrama de Pareto, donde se graficó la cantidad de energía consumida en los meses de análisis, según división consumidora. Mostrado en el Gráfico 10.

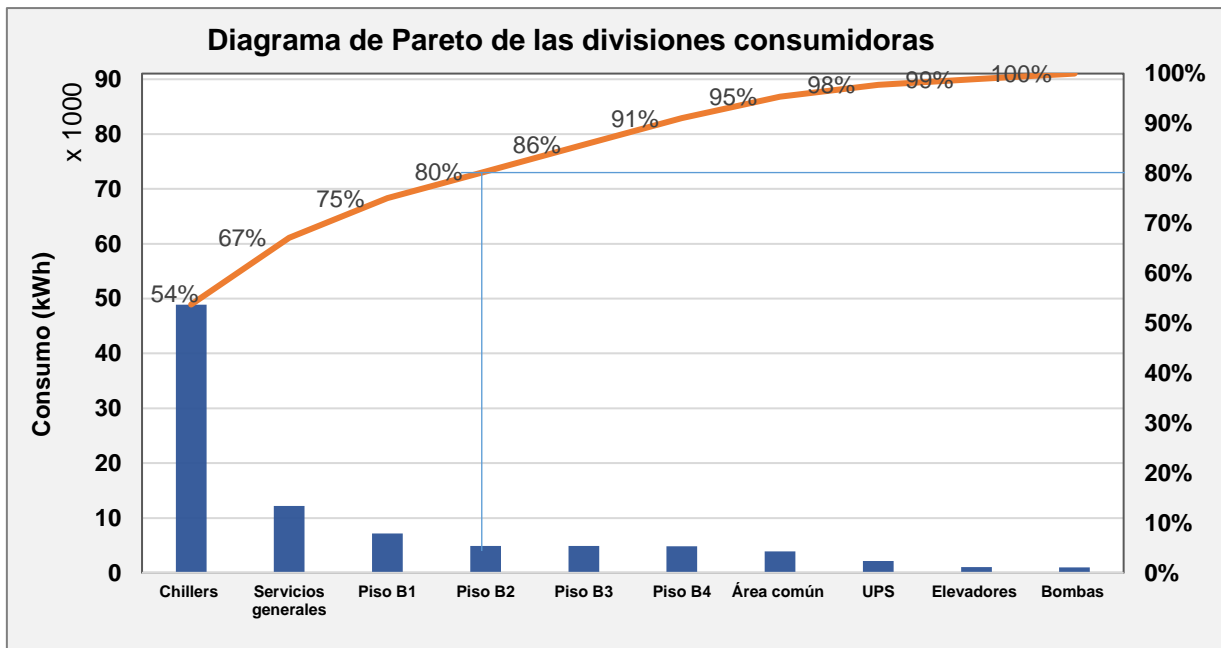


Gráfico 10. Diagrama de Pareto para la identificación de los consumidores significativos.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel.

Del gráfico se deduce que el 80% de la energía consumida, corresponde al consumo de los denominados “pocos vitales”, queda a criterio del evaluador y de la organización, determinar en cuáles enfocar y optimizar el desempeño.

El resultado de los pocos vitales señala a los *chillers* como principales consumidores, abarca poco más del 40% de la energía,

Por criterio de la organización, así como por objetivos del proyecto, se decide prestar atención al consumo de los pisos, pues en ellos se encuentra el registro de la energía en iluminación y unidades *fan coil*, y las plantas de enfriamiento de agua.

Debido al contrato de arrendamiento entre P&G se tiene un cobro determinado para las denominadas zonas privadas, mientras que la zona común corresponde a un cobro parcial.

De esta manera, el diagnóstico energético se desenvolverá en dos áreas, el análisis del sistema de climatización artificial por agua helada y la evaluación de la iluminación.

Tabla 8. Distribución del cobro del edificio B.

Zona privada	Zona común
Pisos 1,2,3 y 4	Elevadores
UPS B	Área común
Chiller B1	Bombas AB
Chiller B2	Tablero de servicios generales

Fuente: ControlSoft Systems.

3.5 Diagnóstico energético del sistema de climatización artificial.

Debido a los resultados obtenidos en el apartado anterior, es necesario entrar en detalle en los “pocos vitales”, donde las medidas tomadas generan resultados de alto impacto, tal es el caso del sistema de climatización artificial: Aire Acondicionado.

Esto implica un estudio más a fondo, tomando en cuenta aspectos técnicos de ingeniería y desempeño energético, para alcanzar eficiencia en este sistema determinante, y así mejorar la eficiencia global.

Para abarcar de la mejor manera este apartado, se considera evaluar los siguientes puntos clave:

- Conocimiento del sistema de climatización.
- Perfil energético de las plantas de agua helada.
- Cálculo de carga térmica por recinto y total.
- Análisis de carga instalada por recinto.
- Análisis comparativo de la carga instalada vs carga calculada.
- Indicadores Btu/h/ft².
- Oportunidades de mejora.

Como parte de los entregables del proyecto, se tendrá herramientas para facilitar la evaluación de estos puntos, tales como: hojas de cálculo predeterminadas, instructivos, capacitación.

3.5.1 Conocimiento del sistema de climatización.

Es necesario tener conocimiento del sistema de Aire Acondicionado del lugar donde se va a proponer el diagnóstico energético, siendo este sistema uno de los principales consumidores de energía. La estadía en las instalaciones, así como la ayuda del departamento de Ingeniería y Operaciones, facilitó el acceso a ciertas áreas, y recopilación de información valiosa.

3.5.1.1 Unidades Fan Coil.

En cada piso se tiene alrededor de 8 a 9 unidades instaladas, de la marca Carrier, que suministran aire a todas las salas, la distribución del Aire Acondicionado se puede observar en los anexos. Se tienen 4 capacidades, y esto dependerá de la cantidad de que pueda suministrar. A continuación, se observa el tipo de unidad *Fan Coil*, así como los datos de la ficha técnica, para las capacidades con las que se cuentan, el modelo del equipo es 42BHB de Carrier, seguido del número que designa el tamaño.

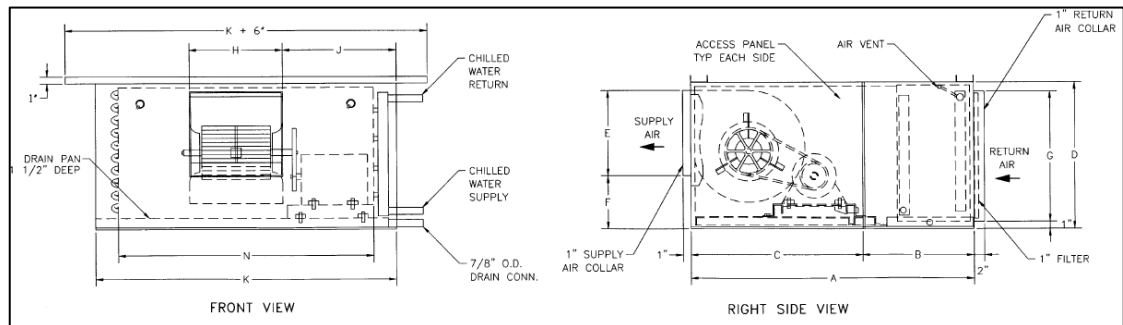


Figura 15. Vista frontal y lateral de las máquinas *fan coil* instaladas según ficha técnica.

Fuente: Ficha técnica del fabricante.

3.5.1.2 Inventario del sistema fan coil presente.

Las unidades *fan coil* están codificadas según el piso que pertenezcan, por lo que se hizo un levantamiento de estos equipos, con ayuda de los planos de distribución y los datos brindados por el departamento de operaciones. Así mismo la capacidad de enfriamiento se calculó mediante los datos de ficha técnica. En la Tabla 9 se muestra el inventario de estos equipos, con su respectiva codificación, capacidades en BTU/h, así como la ubicación física en el edificio.

Tabla 9. Inventario de los equipos *fan coil* y sus capacidades.

Código	Marca	Modelo	Ubicación en el edificio	Capacidad (Btu/h)	
				BTU/h	W
2406	Carrier	42BHB20BG4R62020EA	Sala B4-G11	60000	17584
2409	Carrier	42BHB20BG4L62020FA	Sala B4-N14	46800	13716
2408	Carrier	42BHB16BG4R61620EA	Cubículos B4	66000	19343
2407	Carrier	42BHB20BG4R62020EA	Cubículos B4	66000	19343
2403	Carrier	42BHB16BG4R61620EA	Sala	61800	18112
2402	Carrier	42BHB20BG4R62020EA	Cubículos B4	65700	19255
2404	Carrier	42BHB20BG4R62020EA	Lockers B4	60000	17584
2405	Carrier	42BHB12BG4R1261320EA	Lockers B4	66000	19343
2401	Carrier	42BHB20BG4R62020EA	Cubículos B4	71400	20925
2400	Carrier	42BHB30BG4L63008LB	Lobby B4	92400	27080
2306	Carrier	42BHB20BG4R62020FA	Cubículos B3	46800	13716
2305	Carrier	42BB16BG4R61620EA	Cubículos B3	52800	15474
2304	Carrier	42BHB20BG4R62020FA	Cubículos B3	66000	19343
2310	Carrier	42BHB20BG4R62020FA	Cubículos B3	48000	14067
2307	Carrier	42BHB12BG4R61320FA	Cubículos B3	63600	18639
2311	Carrier	42BHB20BG4R62020FA	Pantry B3	66000	19343
2303	Carrier	42BHB20BG4R62020FA	Cubículos B3	66000	19343
2301	Carrier	42BHB20BG4R62020FA	Cubículos B3	71400	20925
2302	Carrier	42BHB20BG4R62020FA	Cubículos B3	65700	19255
2300	Carrier	42BHB30BG4R63008EB	Lobby B3	92400	27080
2205	Carrier	42BHB20BG4R62020FA	Cubículos B2	66000	19343
2208	Carrier	42BHB20BG4R62020FA	Cubículos B2	46800	13716
2207	Carrier	42BHB16BG4R61620EA	Cubículos B2	52800	15474
2206	Carrier	42BHB20BG4R62020FA	Cubículos B2	66000	19343
2204	Carrier	42BHB20BG4R62020FA	Pantry B2	67200	19694
2210	Carrier	42BHB12BG4R61320EA	Cubículos B2	48000	14067
2203	Carrier	42BHB20BG4R62020FA	Cubículos B2	66000	19343
2200	Carrier	42BHB30BG4L63008EB	Lobby B2	90000	26376
2201	Carrier	42BHB20BG4R62020FA	Cubículos B2	71400	20925
2202	Carrier	42BHB20BG4R62020FA	Cubículos B2	65700	19255
2100	Carrier	42BHB20BG4R62020FA	Oficina de Spines	66000	19343
2105	Carrier	42BHB20BG4R61620FA	Cubículos B1	42300	12397
2106	Carrier	42BHB20BG4R61620FA	Cubículos B1	42300	12397
2101	Carrier	42BHB20BG4R62020FA	Cubículos B1	65400	19167
2104	Carrier	42BHB20BG4R62020FA		66000	19343
2102	Carrier	42BGB20BR4R62020	Cubículos B1	69300	20310
2108	Carrier	42BHB20BG4R61620EA	Sala	66000	19343
2109	Carrier	42BHB16BG4R61620EA	Innovation	72450	21233
2103	Carrier	42BHBG20BG4R62020FA	Sala	61800	18112

Fuente: Departamento de operaciones. Ficha técnica.

3.5.1.3 Sistema de enfriamiento de agua.

El edificio cuenta con dos plantas de agua helada o *chillers*, enfriados por aire, modelo 30GTN110-620 de la marca Carrier con una capacidad de 110 Toneladas de

refrigeración, cada uno. Los cuales operan de manera simultánea, con algunas variaciones en los últimos meses. Estos se encuentran posicionados en la azotea del edificio, y de la misma manera, se tienen dos plantas para los edificios A y C.

La red hidráulica de climatización opera bajo una distribución de caudal constante, debido a esta configuración, el caudal, la pérdida de presión, y por lo tanto la potencia de bombeo permanece constante. Esto indica que a cargas parciales se puede llevar un consumo energético elevado por bombeo. En la Figura 16 se aprecia los *Chillers* del edificio B.



Figura 16. Plantas de agua helada enfriada por aire instalada

Fuente: Plantas enfriadoras edificio B.

En la Tabla 10. Se brindan datos importantes de las plantas de agua helada, según los datos técnicos del fabricante.

Tabla 10. Datos técnicos del *chiller* en condiciones estándar según ARI*

Unidad 30GTN	Capacidad (TR)	Tipo de compresor	Potencia compresor (kW)	Potencia ventilador (KW)	EER	COP	kW/ TR	Refrigerante	Presión refrigerante	
									Alta (psig)	Baja (psig)
110	108,7	Reciprocante	123,7	12,7	9,56	2,8	1,25	R22	450	300

Fuente: Ficha técnica del fabricante. *ARI: *Air Conditioning and Refrigeration Institute*

Dada esta información, resulta importante aclarar que estos datos se dan en condiciones estándar, por lo que el consumo, capacidad y eficiencia, cambiará de manera leve, en otras condiciones ambientales.

Cada *chiller* cuenta con 4 compresores recíprocos semiherméticos, distribuidos en dos circuitos. El refrigerante en uso corresponde al R-22, un refrigerante relacionado con el grupo de los Hidroclorofluorocarbonos (HCFC), el cual está incluido dentro de los protocolos ambientales mencionados, que tienen como medida el reemplazo al 100% para los próximos años.

El sistema de distribución constante abastece el agua helada para las unidades *fan coil* presentes en los 4 pisos.

- **Consumo de bombas.**

Es necesario calcular la potencia consumida por las bombas encargadas de trasegar el agua en el circuito. Se aplicó la ecuación para calcular la potencia real de la bomba, en kW. Para esto, es necesario los datos de placa tomados en campo.

Se cuenta con una bomba por *chiller*, para un total de dos bombas para el edificio B. En la Tabla 11 se muestra los datos de interés recolectado de la placa de las bombas.

Tabla 11. Datos de placa de las bombas.

Caudal (GPM) [m ³ /s]	Cabeza de presión (ft) [m]	Indicación de modelo	Fabricante
270 [0,017]	88 [26,82]	Series 80 model: 4x4x9 ½	Bell & Gossett

Es necesario determinar la eficiencia de la bomba, Para determinar la eficiencia de la bomba, se toma de la eficiencia especificada por las curvas características del fabricante Bell & Gosset (Ver anexo).

Aplicando la fórmula 1 con los datos obtenidos previamente, se realiza la sustitución con los datos según:

$$Q = 270 \text{ GPM (0.0170316 m}^3\text{/s)}$$

$$\gamma = 9800 \text{ N/m}^3$$

$$H_b = 88 \text{ ft (26.8224 m)}$$

$$\eta = 61.78\%$$

$$Pr = \frac{0,0170316 \times 9800 \times 26,8224}{0,6178}$$

$$Pr = 7,25kW$$

Se considera que la bomba opera de manera constante, por ende, este será su consumo, y será constante a cualquier demanda.

3.5.2 Perfil energético de las plantas de agua helada.

Como parte de una revisión en profundidad, es necesario un análisis de la tendencia o perfil del consumo energético a lo largo de una jornada promedio en puntos de análisis estratégicos. Para efectos del comportamiento identificado en el apartado de planificación de la energía, se observó una tendencia creciente en la demanda detectada por uno de los *chillers* en los meses de análisis. Debido a esto, se tomó como referencia, los meses de abril y Julio, para analizar el comportamiento diario promedio de la potencia activa registrada, con su respectiva desviación estándar. Al hacer revisión de esta diferencia, en operación inicial y final, referente a este estudio, se pueden determinar algunas oportunidades de mejora.

Para la obtención de los datos del chiller, al tener conocimiento que su operación bajo escenarios de diseño inicial, por lo que se tendrá condiciones específicas de 42°F de LCWT (temperatura de salida del agua fría) y 85°F de temperatura ambiental, en la que se obtienen los datos especificados por el fabricante.

Tabla 12. Datos capacidad, potencia total consumida y eficiencia de los chillers para condiciones ambientales reales.

Temperatura externa (°F)	Temperatura salida de agua fría (°F)	%Carga	Capacidad (TR)	Potencia Compresores (kW)	Potencia Ventiladores (kW)	Potencia total (kW)	GPM	<u>EER</u>
85	42	100%	110,9	114,5	12	126,5	265,7	10,52

Fuente: Ficha técnica del fabricante.

Dadas las condiciones anteriores, se establece como una línea base de consumo para cada una de las plantas de agua helada. Ahora bien, los datos registrados por el sistema de monitoreo de ControlSoft, son tomados desde los tableros designados para esta planta de agua helada, de esta manera también se contempla el consumo de las bombas, por lo que los datos de potencia activa registrada por el medidor se da acorde a la Tabla 133.

Tabla 13. Consumo base (teórico) de potencia activa de los chillers.

%Carga	Consumo potencia activa (kW)			kW/ton
	Chiller	Bomba	Total	
100%	126,5	7,25	133,75	1,2

Fuente: Elaboración propia. MS Excel

Debido a que el control de capacidad de un chiller de caudal constante se lleva a cabo encendiendo y apagando el compresor durante los periodos requeridos para mantener la temperatura de retorno dentro del rango deseado; es seguro asumir que el gasto energético es proporcional a la capacidad de enfriamiento.

3.5.2.1 Análisis de los datos registrados para abril del 2017.

Se estableció un horario de análisis diario, desde las 6:30am hasta las 6:30pm, debido a que este rango se encuentra el arranque pare de las máquinas dada la jornada laboral de los trabajadores de P&G.

Se estableció un promedio de las mediciones de potencia activa (kW) registradas cada 15 minutos, apreciado en el Gráfico 11, donde se pone en evidencia que el *chiller 1B* es quien lleva la carga, operando con valores cercanos al 100% del porcentaje de carga establecido en la Tabla 133, se llega a alcanzar un máximo de 127,54 (95% de carga). Sin embargo, al tratarse de un promedio de datos, es preciso analizar la desviación estándar de la muestra (S), dadas las variaciones debido a picos detectados, en el Gráfico 12 se muestra esta tendencia.

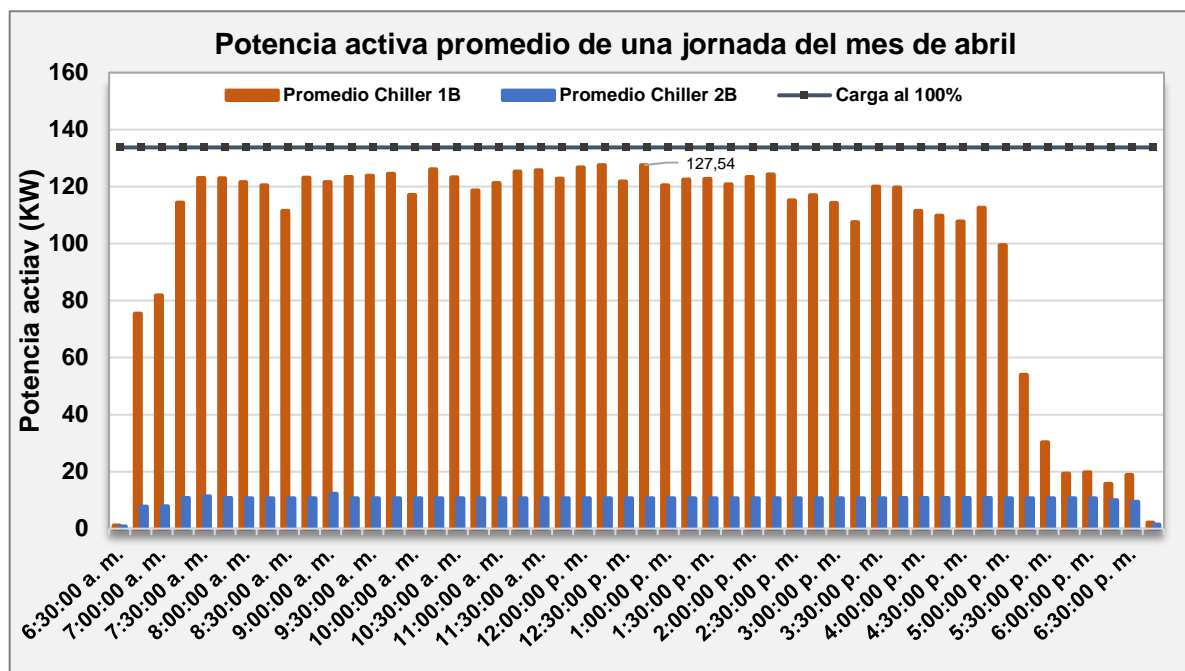


Gráfico 11. Promedio de potencia activa registrado en un día de operación de las plantas de agua helada para el mes de abril.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel.

Del Gráfico 1211 se observa que son las primeras horas del día (alrededor de las 7:00 am) donde se registra una mayor desviación estándar, con un valor máximo de 55,9kW entre los días de análisis, esto indica una variación respecto del promedio calculado. Puede tener origen debido a casuales perfiles de carga térmica entre los días de un mes, este aspecto está relacionado directamente con la inercia térmica que tiene que

vencer la máquina al arrancar, en conjunto con la demanda creciente debido al ingreso de trabajadores, e incluso el tiempo atmosférico de los días en análisis.

Esto provoca que se generen picos de potencia activa entre los días de análisis, para una misma hora. Según datos brindados por la organización, los *chillers* no están programados para cumplir un porcentaje de carga cada uno, sino que se ha establecido una temperatura de salida del agua fría, y en caso de que el *chiller* principal no logre llegar a tal valor establecido, se activa de manera inmediata el *chiller* de respaldo. Sin embargo, para este mes, no se detecta actividad de la planta enfriadora 2B, por lo que se descarta una alternancia, al menos para este mes de análisis.

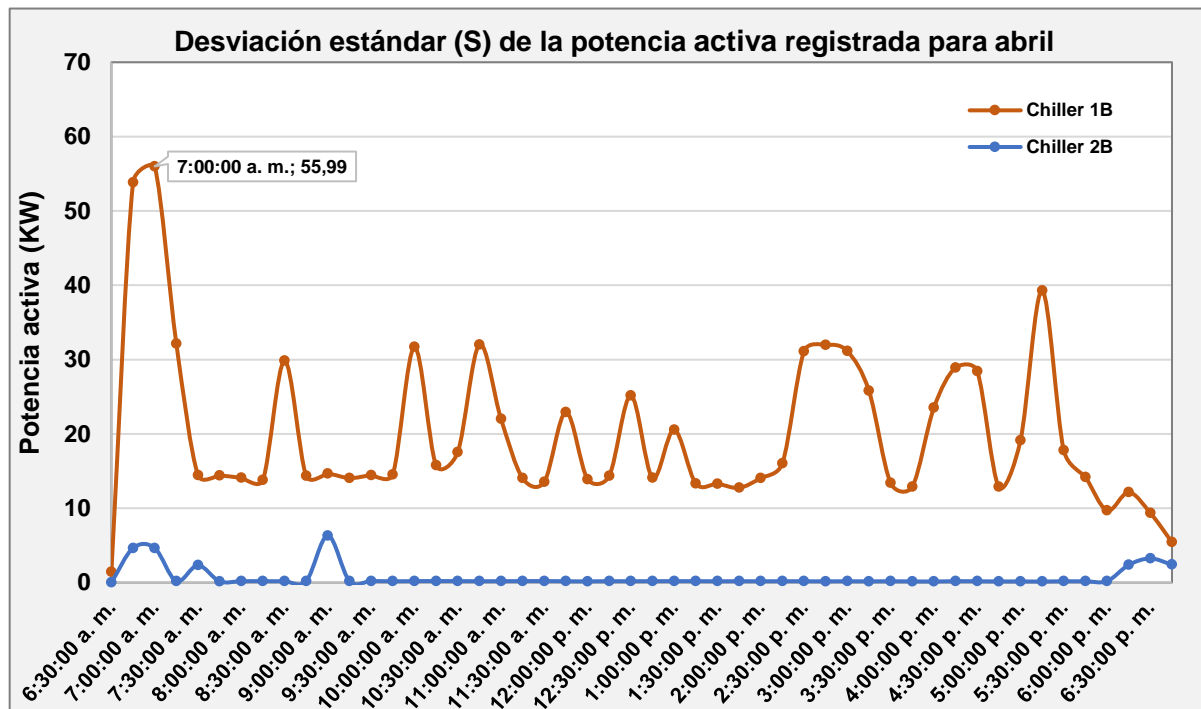


Gráfico 12. Desviación estándar (S) del promedio de la potencia activa registrada para abril.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel.

3.5.2.2 Análisis de los datos registrados para Agosto del 2017.

Del registro correspondiente al mes de Agosto, se observa un cambio en el porcentaje de carga, ahora el *chiller 2B* aumenta la carga promedio y alcanza aproximadamente,

el 60% (80kW) de carga en la mayor parte de la jornada de operación, hasta llegar a un máximo cercano al 80% de carga (100kW) en horas de la tarde. El *chiller 1B* disminuye su porcentaje de carga, y se mantiene en un rango entre 30% a 50% (entre 30kW a 65kW) para las horas de la mañana, disminuyendo de manera progresiva en horas de la tarde, en el momento preciso cuando el 1B aumenta su porcentaje de carga. Todo este comportamiento se aprecia en el Gráfico 13.

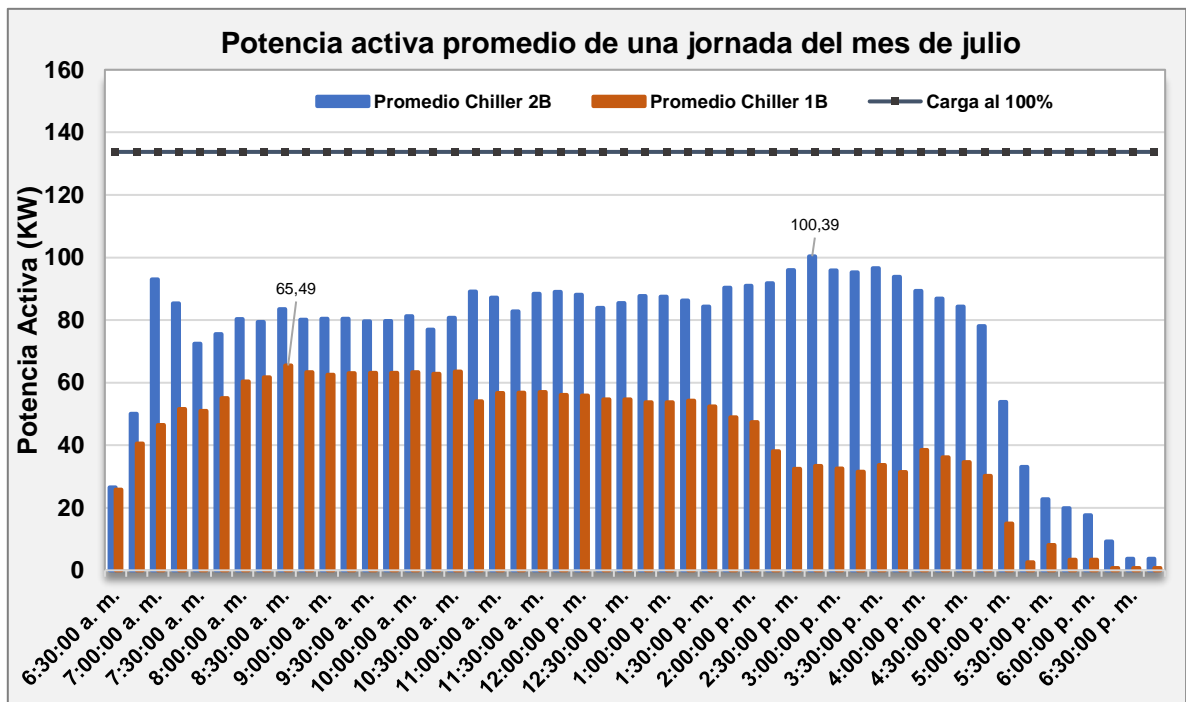


Gráfico 13. Potencia activa registrado para un día de operación de las plantas de agua helada del mes de Julio.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel.

Para una correcta interpretación, es necesario tomar en cuenta la desviación estándar de estos datos, en el Gráfico 14 se observa que hay una desviación alta en los datos registrados, para las dos plantas enfriadoras, se observa una abundante variación de los registros diarios respecto al promedio. Como se explicó para el mes de abril, el perfil de carga térmica entra en juego, debido a la variación de esta a lo largo de los días de análisis. Sin embargo, para julio se detecta una desviación mayor, que se extiende cerca al fin de la jornada diaria tal como lo especifica el Gráfico 14. Esta

desviación mayor se le atribuye al concepto de alternancia semanal, ya implementado para el mes de Agosto, como método para extender vida útil de los equipos. Sin embargo, se mantiene la operación por establecimiento de temperatura de salida del agua.

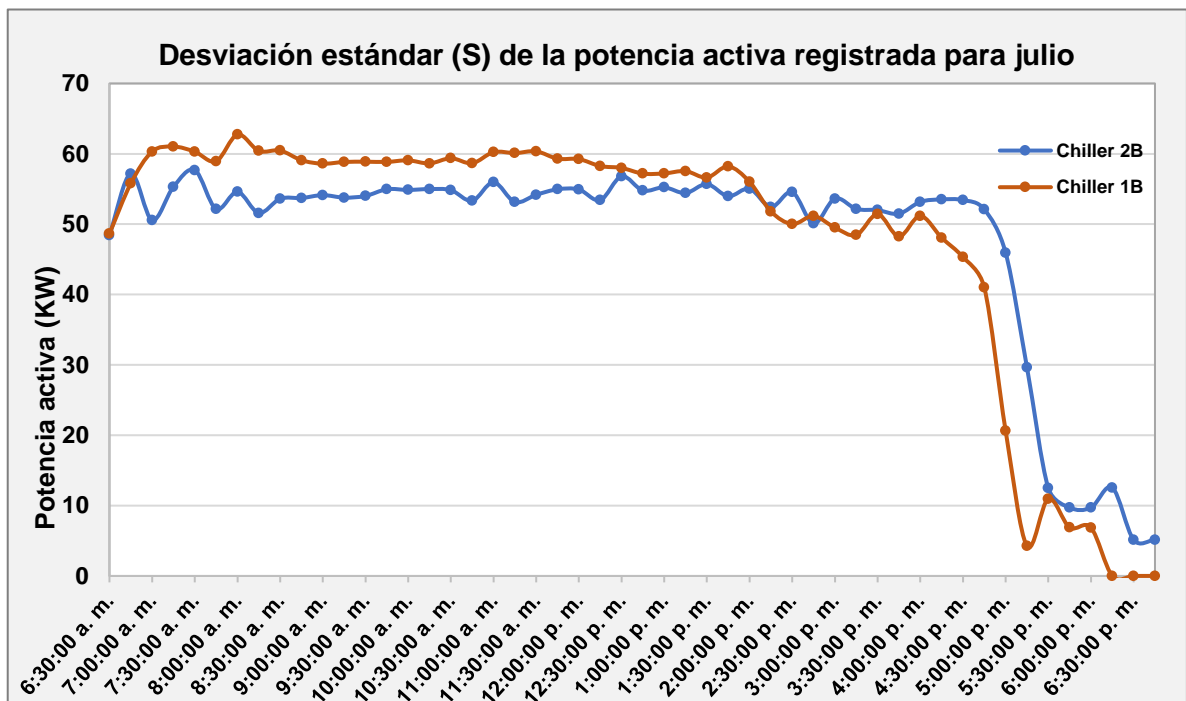


Gráfico 14. Desviación estándar (S) de la potencia activa registrada para el mes de julio.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel.

Al analizar en períodos semanales se logra apreciar, que no se mantiene una alternancia completa en la mayoría de las semanas del mes, pues la temperatura no es alcanzada por el *chiller* designado como principal para esa semana, y ocurre lo que se aprecia en los siguientes gráficos.

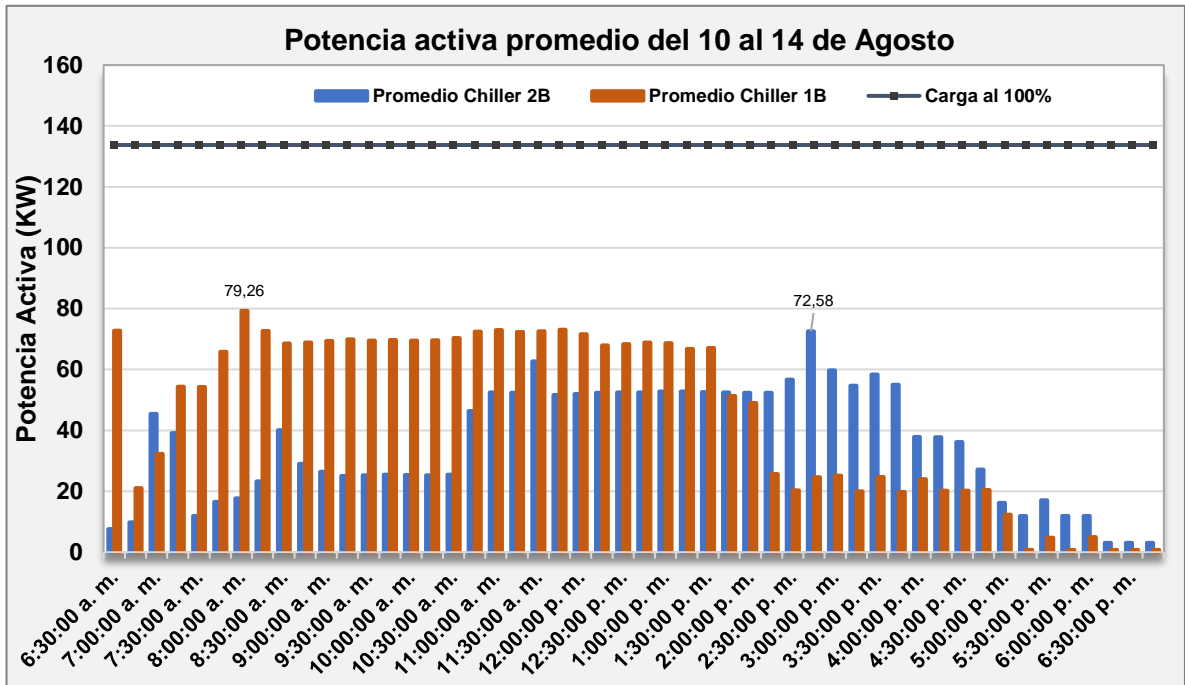


Gráfico 15. Potencia activa promedio del 10 al 14 de Agosto.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel

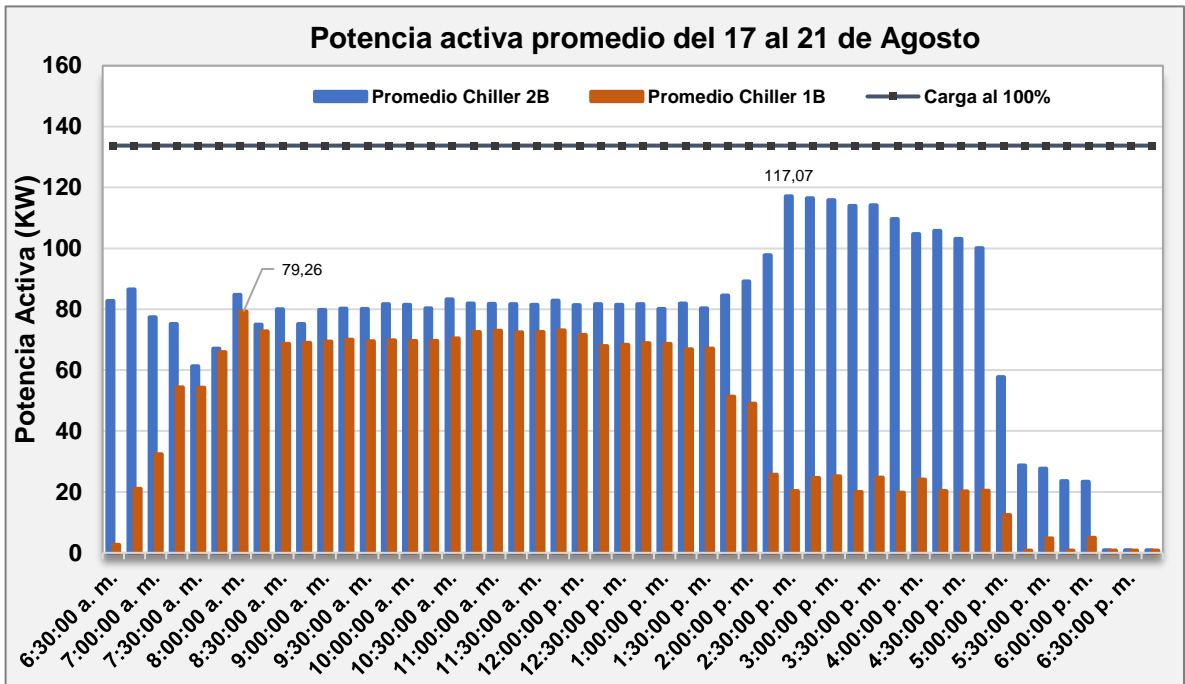


Gráfico 16. Potencia activa promedio del 17 al 21 de Agosto.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel

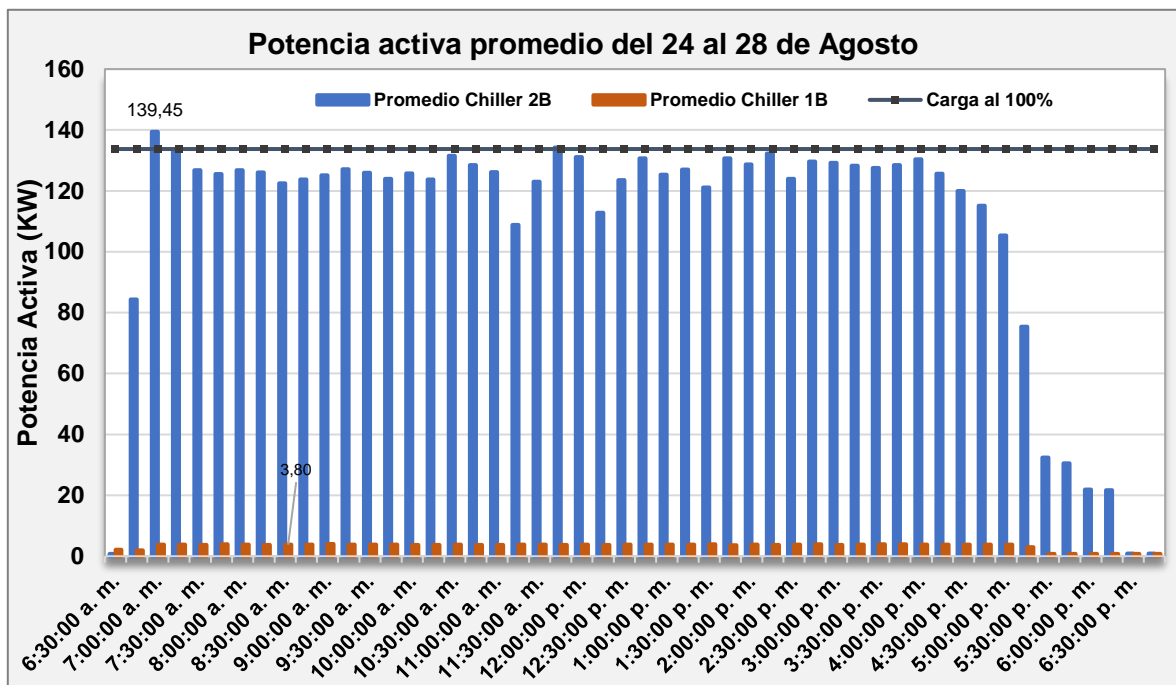


Gráfico 17. Potencia activa promedio del 24 al 28 de Agosto.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel.

Se aprecia una diferencia entre las semanas analizadas, donde para la semana del 10 al 14 el chiller 1 sería el principal, pese a esto, el chiller 2 o respaldo aumenta su consumo de potencia de manera progresiva hasta llegar a un valor cercano al consumo máximo detectado para el *chiller* principal. En la semana del 17 al 21 de Agosto, el *chiller* 2 estaría actuando como principal, sin embargo, de igual manera, no se logra marcar esta alternancia debido a la intervención del chiller respaldo, el cual llega a registrar valores altos de potencia activa, perjudicando la demanda simultánea. Mientras que, para última semana del mes, se desconoce el estado del chiller principal, puesto que el chiller 1 pareciera estar fuera de operación, podría considerarse en estado de mantenimiento, en este caso el chiller 2B es quien lleva la carga, y lo hace con picos (139,45W) que superan el consumo teórico dadas las condiciones ambientales establecidas para un 100% de porcentaje de carga (133,75W). Esto indica que no es suficiente un *chiller* para suplir la carga térmica máxima del edificio, ya que se estaría forzando el equipo en porcentajes de carga menos eficientes. Más adelante se determinará la carga térmica del edificio.

3.5.2.3 Análisis del factor de potencia.

Se aprovecha la lectura del factor de potencia (fp) realizada por el sistema de monitoreo, y se obtiene el comportamiento diario de este valor para las plantas de agua helada, hay que recordar que estas plantas de agua helada son idénticas tanto en capacidad de enfriamiento como sistema de alimentación. Los resultados se aprecian en el Gráfico 18.

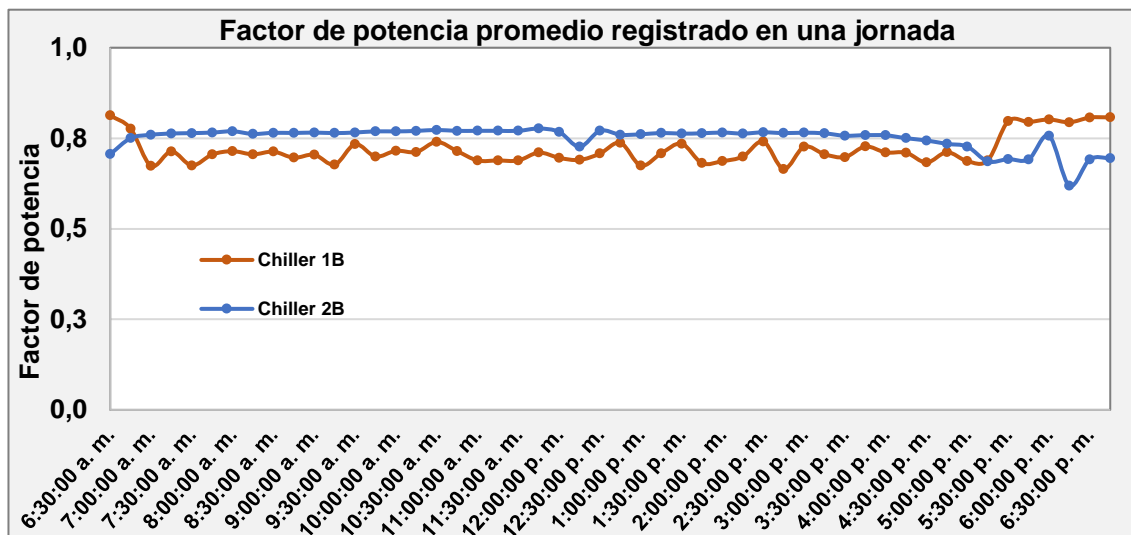


Gráfico 18. Factor de potencia promedio registrado para una jornada en los meses de análisis.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel.

Para el *chiller 2B* el factor de potencia ronda los 0,8 a lo largo del tiempo en operación, mientras que el *chiller 1B* presenta valores menores, pues se detecta una fluctuación entre 0,65 a 0,8 durante el periodo de operación.

En ambos casos, el fp está por debajo del requerido por la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), que solicita un fp de al menos 0,9 que en caso contrario se presta para un castigo monetario por bajo factor de potencia. Para estas plantas de agua helada, el fp puede ser determinante al ser los principales consumidores del edificio.

De esta manera se calcula la cantidad de kiloVoltiAmperioReactivos (kVAr) requeridos para lograr aumentar el factor de potencia de ambas plantas enfriadoras de agua. Se aplica la ecuación 9 tomando en cuenta la potencia activa promedio registrada cada 15 minutos. En el Apéndice 14 se muestra el cálculo realizado.

$$kVAr \text{ requeridos} = (\tan(\gamma)_{actual} - \tan(\gamma)_{deseado}) \times kW$$

Ecuación 8. Cálculo de kVAr requeridos para un factor de potencia deseado.

Siendo:

$$\tan(\gamma)_{actual} = \cos^{-1}(fp)_{actual}$$

$$\tan(\gamma)_{deseado} = \cos^{-1}(fp)_{deseado}$$

$$kW = \text{Potencia activa medida}$$

Así se obtiene la cantidad de kVAr necesaria, tomando en cuenta los dos *chillers*, para alcanzar el fp de 0,9. El Gráfico 199 muestra estos valores necesarios.

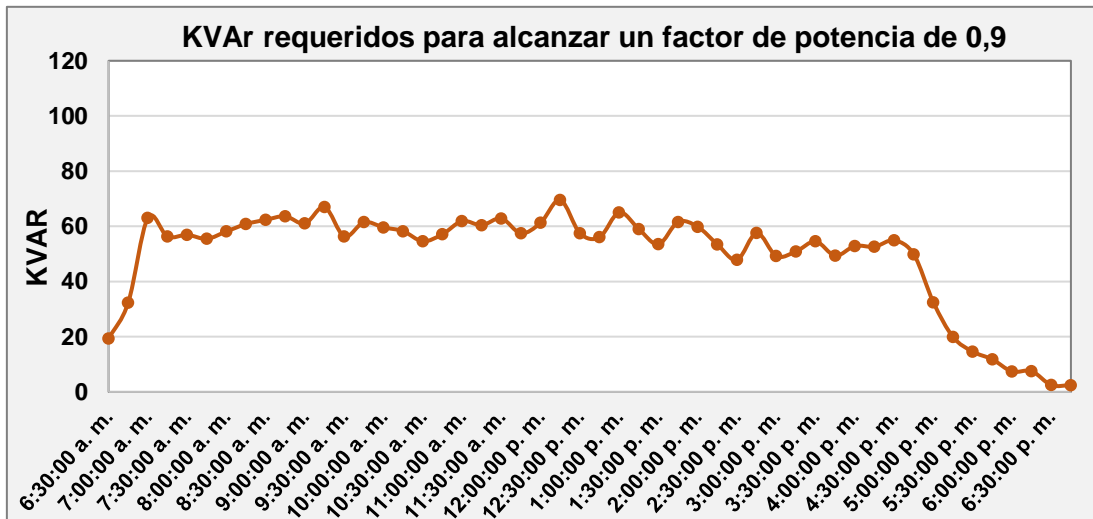


Gráfico 19. KVAR requeridos para un factor de potencia del 90% en las plantas de agua helada.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel.

Se observa un comportamiento entre los 50 y 70 kVAr para las horas de operación de las plantas, es común que haya oscilación pues el comportamiento de consumo de estos equipos no es constante.

Hay que tomar en cuenta que, la demanda máxima (kW) de toda la instalación eléctrica del edificio B, se da en el período valle (Ver Gráfico 5), así el factor de potencia que toma en cuenta la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), no es ni el mínimo ni el máximo del mes, sino, el registrado en el momento de demanda máxima.

$$\left[\left(\frac{f_p \text{ requerido}}{f_p \text{ medido}} \right) - 1 \right] * \text{Monto total de facturación por demanda mensual.}$$

Ecuación 9. Determinación del cobro por factor de potencia para CNFL.

Fuente: Cod. 2 CNFL.

3.5.3 Cálculo de la carga de enfriamiento o carga térmica.

Debido a modificaciones que se ha realizado al sistema de suministro de aire acondicionado, es decir, agregar, mover o quitar difusores, en algunos recintos, es necesario evaluar las ganancias de calor, con el fin de realizar una comparación con la carga instalada, determinar si existe o no sobre diseño, para tomar en cuenta en futuras remodelaciones.

3.5.3.1 Recintos climatizados

Los recintos climatizados en el edificio se encuentran en el Apéndice 1, el código y la descripción de los recintos, es lo que se encuentra etiquetado según normativa de P&G.

3.5.3.2 Criterios de diseño

Es necesario tomar en cuenta ciertos criterios para el cálculo de la carga térmica, los cuales se determinan mediante un historial de datos meteorológicos, y por medio de la Carta Psicrométrica.

- **Condiciones exteriores**

Las coordenadas geográficas 9°56'46.4" Latitud Norte y 84°11'37.2" Longitud oeste y una altitud de 928 msnm, corresponde Pozos de Santa Ana, cantón de San José. Se solicitó un historial de las condiciones climáticas al Instituto Meteorológico Nacional, para establecer los parámetros para el cálculo, según un registro histórico brindado en el Gráfico 20.

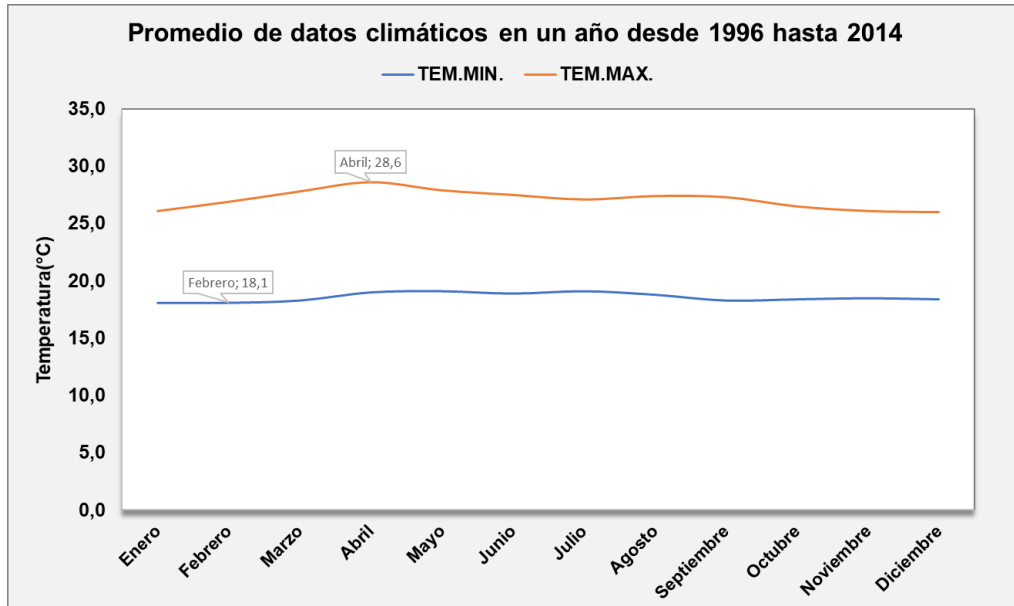


Gráfico 20. Promedio de datos climáticos desde 1996 hasta 2014.

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional (IMN)

La condición más crítica registrada en un periodo de 20 años corresponde al mes de abril, con 28,6 °C (83,5°F), El promedio de la humedad relativa registrada es de un 68,7%. Mediante la carta Psicrométrica se la calcula los datos de Temperatura Bulbo, relación humedad. En la Tabla 14 se muestra los datos de interés de las condiciones externas.

Tabla 14. Condiciones exteriores críticas.

Temperatura Bulbo seco (°F)	Temperatura Bulbo húmedo (°F)	Humedad Relativa promedio (%)	Relación de humedad (granos/lb as)	Mes crítico	Hora crítica de diseño
83,5	73	68,7	68	Abril	14:00 horas

Fuente: IMN, Cálculo psicrométrico.

- **Condiciones del recinto**

Para los recintos a acondicionar, se considera una temperatura en el recinto de 75°F y una humedad relativa de 50%.

Tabla 15. Condiciones internas del recinto.

Temperatura Bulbo seco (°F)	Temperatura Bulbo húmedo (°F)	Humedad Relativa promedio (%)	Relación de humedad (granos/lb as)
75	63	50	56

Fuente: Valores recomendados zona de confort. ASHRAE.

3.5.3.3 Ganancias de calor en los recintos

El cálculo de las ganancias de calor se realizó basado en la metodología brindada por Pita (2005), que a su vez está basado en la literatura ASHRAE.

Para efectos demostrativos se resumirá los criterios para determinar el valor de los parámetros o variables de las ecuaciones para las ganancias de calor (Q), mientras que en el apéndice se realizará una muestra de cálculo.

El procedimiento para el cálculo de las ganancias de calor implicó una serie de recorridos por las instalaciones con el objetivo de tabular datos previos que son necesarios (Áreas, materiales, equipos, puntos cardinales, entre otros), de todos los recintos climatizados. Todo esto se ha facilitado en una hoja electrónica

predeterminada, para suministrar estos datos y se obtener las ganancias de calor correspondientes, para futuros estudios.

i. Conducción a través de la estructura exterior: paredes, techos y vidrios.

Se establecen algunos criterios para determinar las ganancias de calor en la estructura externa. Para obtener la ganancia por conducción (Q), se requiere determinar los siguientes valores:

- Coeficiente general de transferencia de calor (U)
- Áreas de paredes, techos y ventanas. (A),
- Diferencia de temperatura par carga de enfriamiento corregido (DTCEe)
- Diferencia de temperatura par carga de enfriamiento corregido (DTCE)
- Corrección para latitud al calor y mes (LM)
- Corrección debido al color de la superficie (K)
- Corrección de corrección para ventilación de cielorraso (f)
- Temperatura interna (Temp. Int.)
- Temperatura externa (Temp. Ext.)

Basado en las tablas brindadas por la normativa ASHRAE (Ver anexo1) es necesario un criterio de escogencia para el valor de cada aspecto enlistado, para el cálculo de la ganancia neta (Q).

Tabla 16. Coeficiente de transferencia de calor para los materiales de techos y paredes.

Características de la construcción			
Techos	U [BTU/h °F ft²]	Paredes	U [BTU/h °F ft²]
Cubierta de concreto normal: 4in + aislamiento: 2 in	0,11	Concreto pesado 12 in + acabado (Grupo E)	0,421

Fuente: ASHRAE Fundamentals.

Tabla 17. Coeficiente de transferencia de calor para los materiales de ventanas.

Características de la construcción	
Ventanas	U [BTU/h °F ft²]
Vidrio plano con recubrimiento de baja emisión	0,45

Fuente: ASHRAE Fundamentals.

Para el cálculo de la $DTCE_e$, es necesario conocer los valores para $DTCE$, LM , K , f , $Temp. Int.$ Y $Temp. Ext.$

El valor de $DTCE$ para paredes se obtiene según la orientación cardinal, la clasificación del grupo de paredes según las características constructivas y la hora solar crítica. Para techos se obtiene con las características constructivas y la hora crítica. Para ventanas se obtiene solo con la hora crítica.

Los valores de LM se obtienen con la orientación cardinal, latitud geográfica del edificio, y el mes crítico según el historial de las condiciones climáticas. No aplica para ventanas. La Tabla 18 muestra estos valores.

Tabla 18. Valores de $DTCE$ y LM para cálculo de $DTCE_e$.

Grupo	DTCE (°F)	Criterio	LM (°F)	Criterio
Paredes Noreste	26	Paredes grupo E. A las 14:00 horas	2	Latitud 8 Mes: Abril
Paredes Sureste	37		-5	
Paredes Suroeste	18		-5	
Paredes Noroeste	13		2	
Techo	29	Cielo tipo 6 con cielorraso suspendido	-1	
Ventanas	13	A las 14:00 horas	No Aplica	

Fuente: ASHRAE Fundamentals.

Los valores de K se obtienen según el color de la superficie, aplica para paredes y techos (Ver apartado 2.8.2.3). La temperatura de diseño del interior es 75(°F) para todos los recintos, y la externa es la temperatura más alta registrada en el historial climatológico.

Tabla 19. Valor de K, f, temperaturas interna y externa.

K	Criterio	f	Criterio	Temp. Int. (°F)	Temp. Ext. (°F)
0,6	Pared color claro	1	Sin ventilación de cielorraso	75	83,5
1	Techo oscuro				

Fuente: ASHRAE Fundamentals.

ii. Conducción a través de la estructura interior: divisiones internas.

Debido a que todos los recintos del edificio se encuentran climatizados, no existe un diferencial de temperatura crítico, entre cada uno, por lo que no se considera una conducción a través de la estructura interna.

iii. Radiación solar a través de vidrios.

El paso de la energía radiante del sol a través del vidrio se transforma en ganancia de calor al recinto. Este valor depende de los siguientes parámetros:

- Factor de ganancia máxima de calor (FGCS)
- Coeficiente de sombreado (CS)
- Factor de carga de enfriamiento para el vidrio (FCE)

Los valores de FGCS se obtienen según la orientación cardinal de las ventanas, mes crítico y latitud geográfica del edificio. El FCE se obtiene a la hora crítica, y el CS se obtiene dadas las características de las ventanas. Todos estos valores se obtienen de las tablas normadas por ASHRAE.

Tabla 20. Valor de FGCS, CS y FCE para las ventanas del edificio.

Ubicación	FGCS	Criterio	CS	Criterio	FCE	Criterio
Ventanas Noreste	184	Abril Latitud 8	0,36	Persianas color oscuro	0,27	A las 14:00 horas
Ventanas Sureste	134		0,36		0,36	
Ventanas Suroeste	134		0,36		0,44	
Ventanas Noroeste	184		0,36		0,22	

Fuente: ASHRAE Fundamentals.

iv. Alumbrado

Para el cálculo de las ganancias de calor por parte del alumbrado, fue necesario determinar:

- Cantidad de luminarias.
- Potencia consumida por luminaria.
- Factor de balastro (Fb).
- Factor de carga de enfriamiento para el alumbrado (FCE).

Se tienen dos tipos de luminarias presentes en todos los pisos, una luminaria de tubos LED, con 18 Watts cada uno, mientras que el otro tipo *Spot*, con 6 Watts de potencia. Al cálculo final se le aplicó un factor de reducción del 30% por tratarse de luminarias LED y debido a sensores de presencia.

Tabla 21. Valores para la ganancia de calor por alumbrado.

Tipo de luminaria	Potencia (W)	FB	Criterio	FCE	Criterio
Luminaria 3 tubos	54	1,15	Balastro electrónico	1	Sistema de enfriamiento sólo opera en horas de ocupación
Spot	6	1,15		1	

Fuente: ASHRAE Fundamentals.

v. Personas

Para las ganancias de calor por parte de las personas, hay que tomar en cuenta el tipo de actividad que se realiza en el recinto, en este caso al tratarse de oficinas, determina el calor sensible y latente para esto se considera personas sentadas, en reuniones, en mecanografía, entre otros. Sin embargo, hay lugares donde hay tránsito de personas, como los pasillos o *lobbys*, para estos se considera personas desplazándose o caminando despacio. La cantidad de personas se determinó mediante conteo en horas pico de ocupación.

Tabla 22. Calor sensible y latente para la actividad realizada por los ocupantes.

Recinto	Calor sensible (BTU/h)	Calor latente (BTU/h)	FCE
Salas en general	255	255	1
<i>Lobbys</i>	315	325	1

Fuente: ASHRAE Fundamentals.

vi. Equipos

Para la ganancia por parte de los equipos, se consideró la potencia (kW) del dato de placa, y se determinó directamente, la ganancia en BTU/h. Al tratarse de equipos de

oficina, no se considera una ganancia de calor latente. En el Anexo 1 se aprecian estos datos.

vii. Infiltración del aire exterior a través de aberturas.

Las ganancias de calor por infiltraciones se consideran solamente en el lobby del primer piso, mediante un acceso de apertura automática.

Para los demás pisos se despreciará las ganancias por infiltraciones, debido a las condiciones herméticas de las ventanas y demás estructura.

El concepto de renovación del aire aplica para la carga de refrigeración, pues la mezcla con aire fresco; temperatura y humedad relativa mayor, se da cerca de las unidades *fan coil*.

3.5.3.4 Carga de enfriamiento de los recintos.

Resulta importante conocer el comportamiento de los componentes de la carga de enfriamiento, o también llamado carga térmica, en edificaciones, como herramienta de diagnóstico que permita la identificación de flaquezas en las características constructivas, de equipos deficientes y tener noción de las condiciones necesarias para el confort, y así buscar alternativas que reduzcan la contribución de los componentes, por tanto, buscar una operación energéticamente eficiente del sistema de climatización.

De esta manera se realiza la suma de las ganancias netas calculada en el apartado anterior, para todos recintos presentes en todos los pisos del edificio B. A modo de resumen, en la Tabla 23 se muestra la carga de enfriamiento para todos los pisos.

Tabla 23. Cargas enfriamiento totales de los recintos.

Piso	RSGH (BTU/h)	RLGH (BTU/h)	RTHG (BTU/h)
B1	277671	57120	334 791
B2	340557	85425	425 982
B3	371620	78795	450 415
B4	409515	90250	499 765
Total	1 399 363	311 590	1 710 953

Fuente:

Elaboración Propia. Ms Excel.

Para una mejor interpretación, los datos obtenidos se presentarán de la siguiente manera:

- Distribución porcentual y en BTU/h de la carga de enfriamiento según los tipos de ganancias de calor. (Ver Gráficos 21 y 24)
- Distribución de la carga de enfriamiento por recinto de todos los pisos. (Ver Gráfico 23 y 26)

Debido a algunas semejanzas entre el piso 2 y 3, y por la abundancia de datos, solamente, se presentará los resultados de los pisos 1 y 4. Los resultados de los otros pisos se encuentran en el Apéndice 8.

• Piso B1

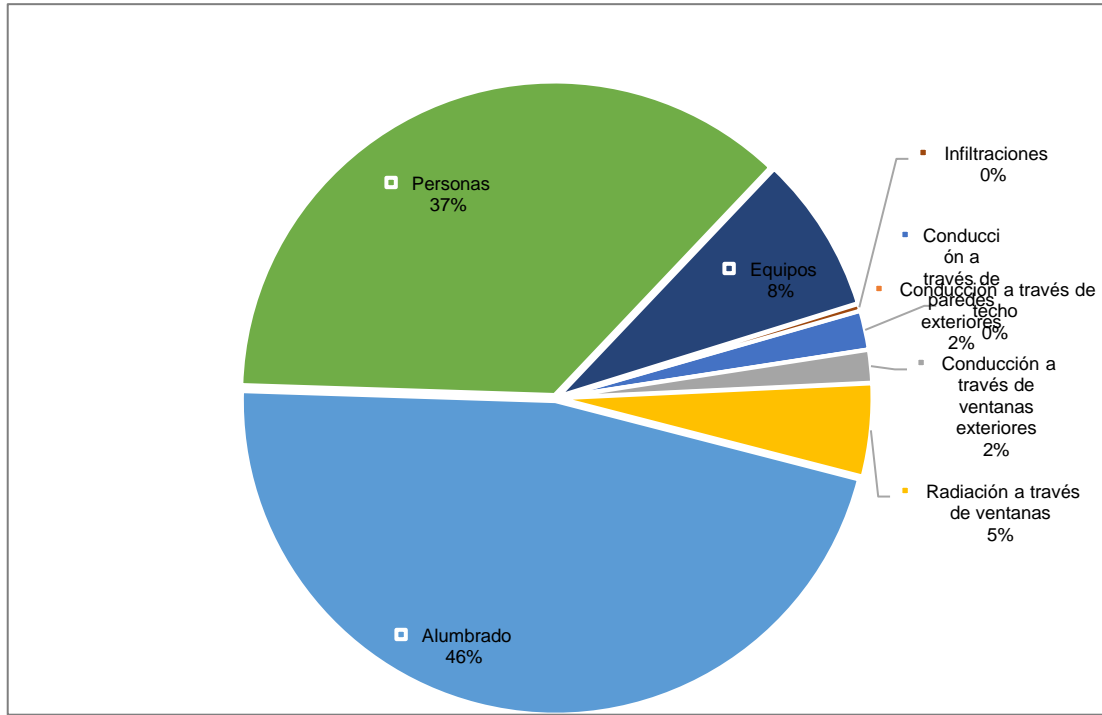


Gráfico 21. Distribución porcentual de la carga térmica del piso B1.

Fuente: Elaboración propia. MS Excel.

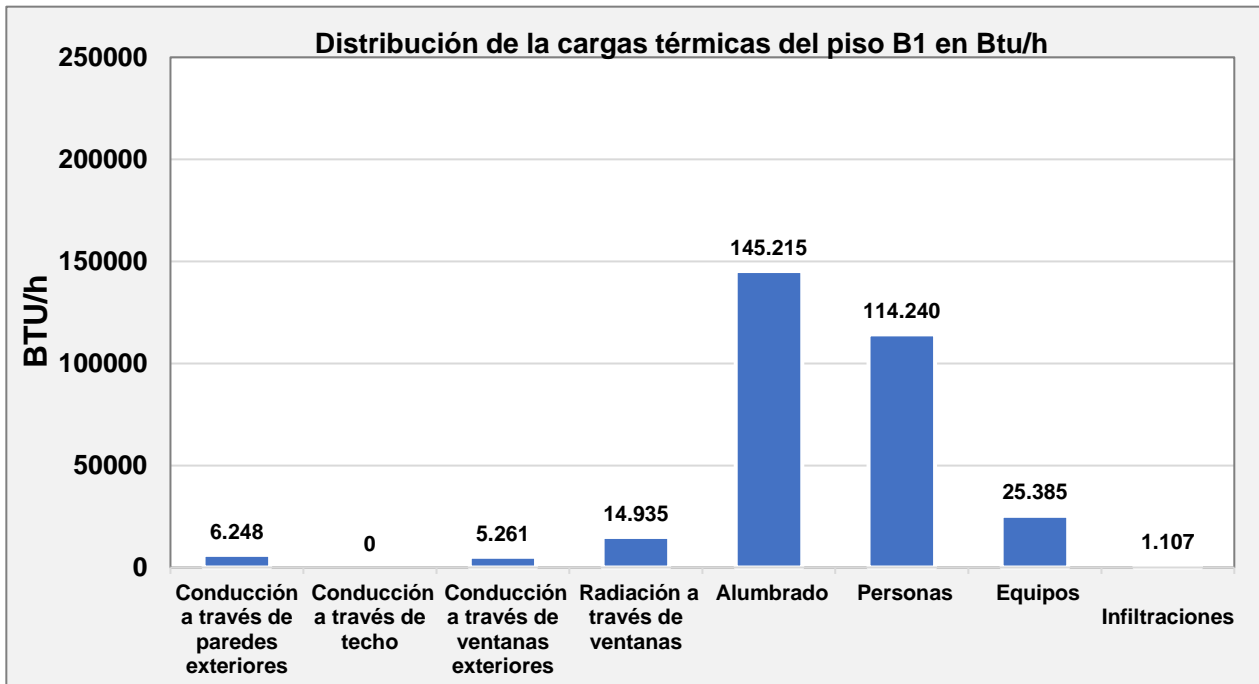


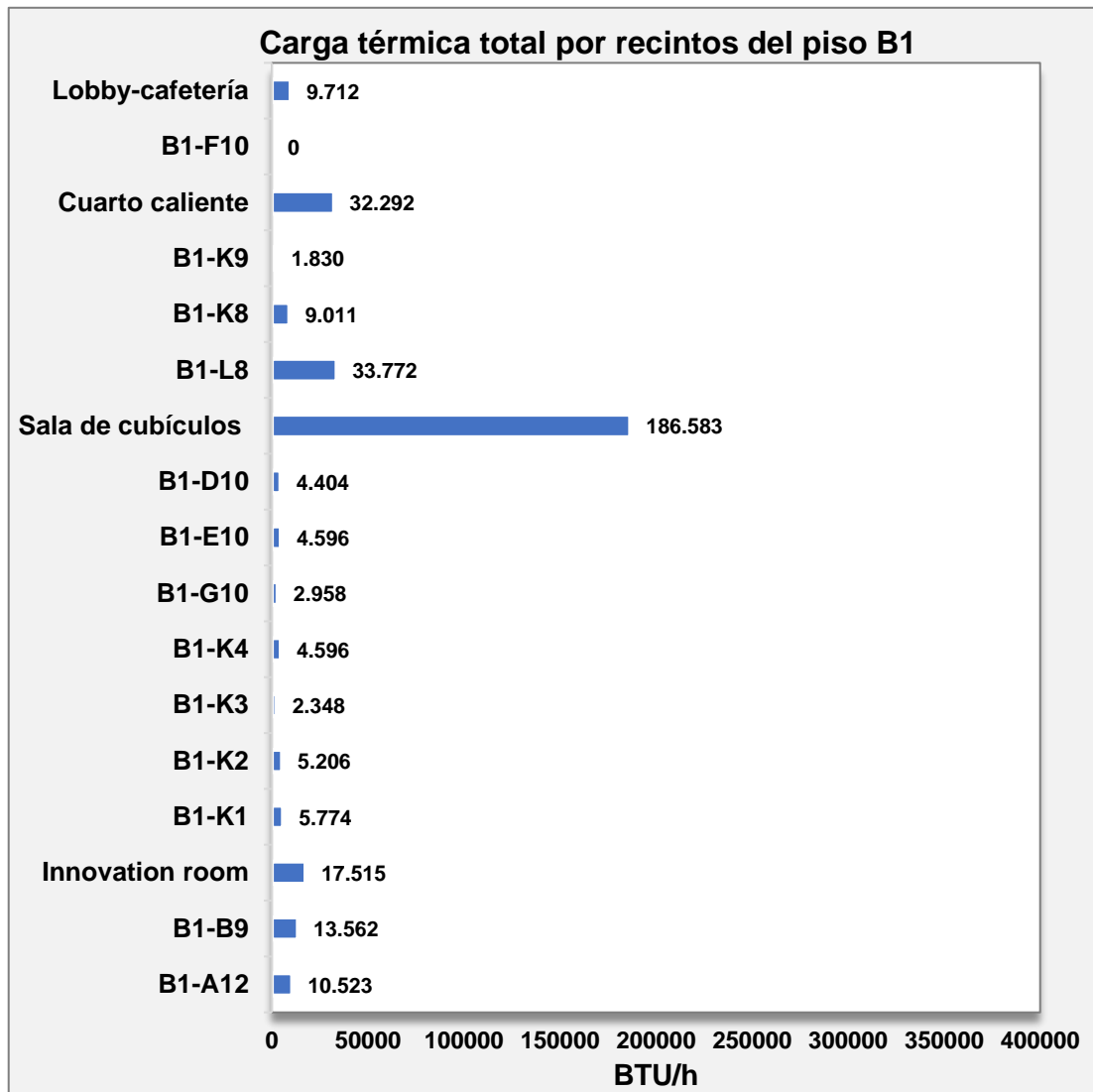
Gráfico 22. Distribución de cargas térmicas en BTU/h para el piso B1

Fuente: Elaboración propia. MS Excel.

Dadas las características constructivas del edificio, se obtienen ganancias muy bajas por transmisión a través de la estructura exterior. Hay que tener presente al tratarse del primer piso, se desprecia la ganancia de calor a través del techo, y se toma en cuenta la ganancia de calor por infiltraciones solamente en el *lobby*.

Se considera preciso hacer una distribución de las cargas de enfriamiento necesarias por recinto, para una posterior comparación con la cantidad suministrada por el sistema de climatización actual, este análisis se realizará en el apartado 3.5.6.

Gráfico 23 muestra la magnitud energética requerida por cada recinto, en BTU/h.



Fuente: Elaboración propia. MS Excel.

Gráfico 23. Ganancias de calor total por recinto del piso B1, en BTU/h

- **Piso B4**

Para el cuarto piso, los resultados por transmisión por la estructura exterior (paredes y ventanas) también son bajos. Las ganancias de calor por infiltraciones son despreciables dada la hermeticidad de la construcción, al igual que los pisos 2 y 3. Por tratarse del último piso, se considera las ganancias de calor a través del techo, se obtiene un resultado relativamente superior en comparación con las paredes y

ventanas, sin embargo, nada alarmante. Las mayores ganancias se obtienen por parte de la iluminación, ocupantes y los equipos.

Dada la cantidad de luminarias presentes en todos los pisos, se obtienen valores altos en comparación a los demás parámetros (42%). Lo cual es un factor importante por analizar si se desea reducir la carga térmica del recinto.

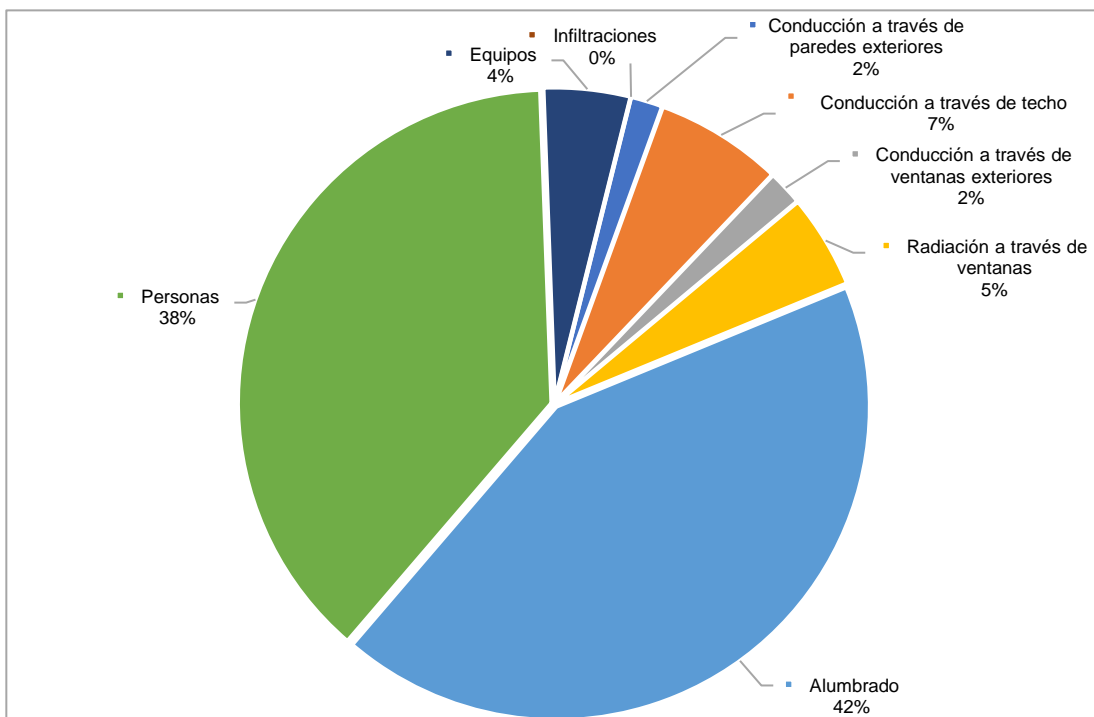


Gráfico 24. Distribución porcentual de la carga térmica del piso B4.

Fuente: Elaboración propia. MS Excel.

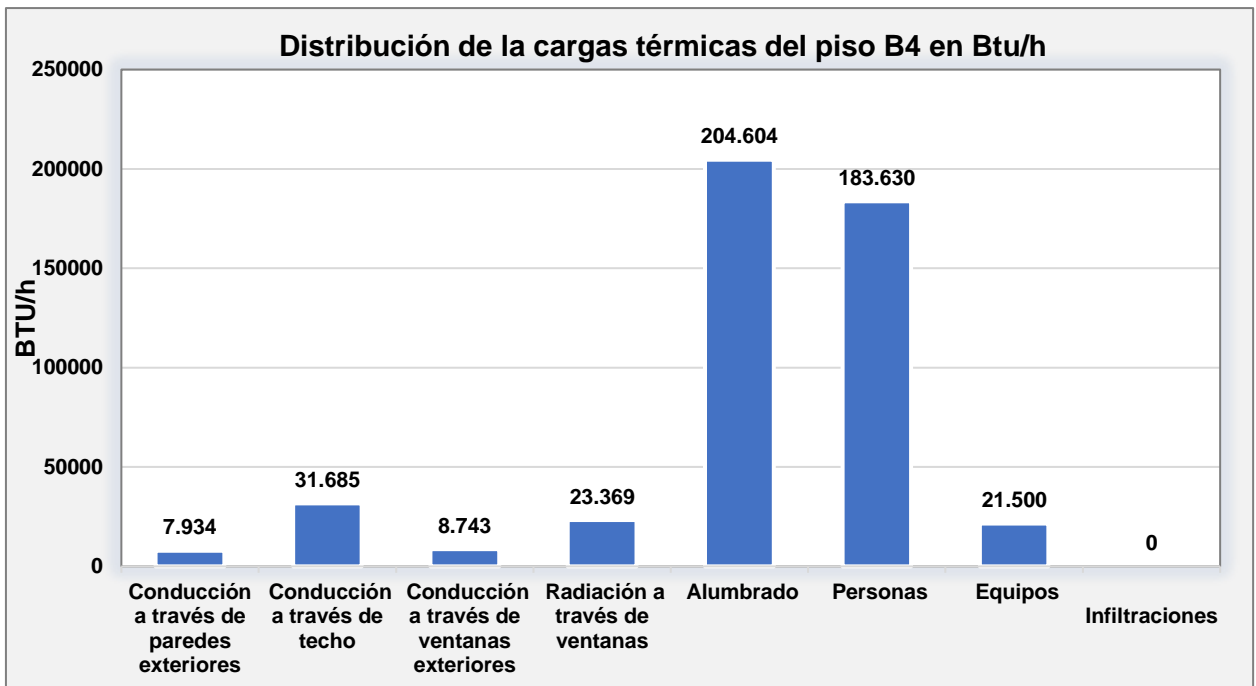


Gráfico 25. Distribución de las ganancias de calor en BTU/h del piso B4.

Fuente: Elaboración propia. MS Excel.

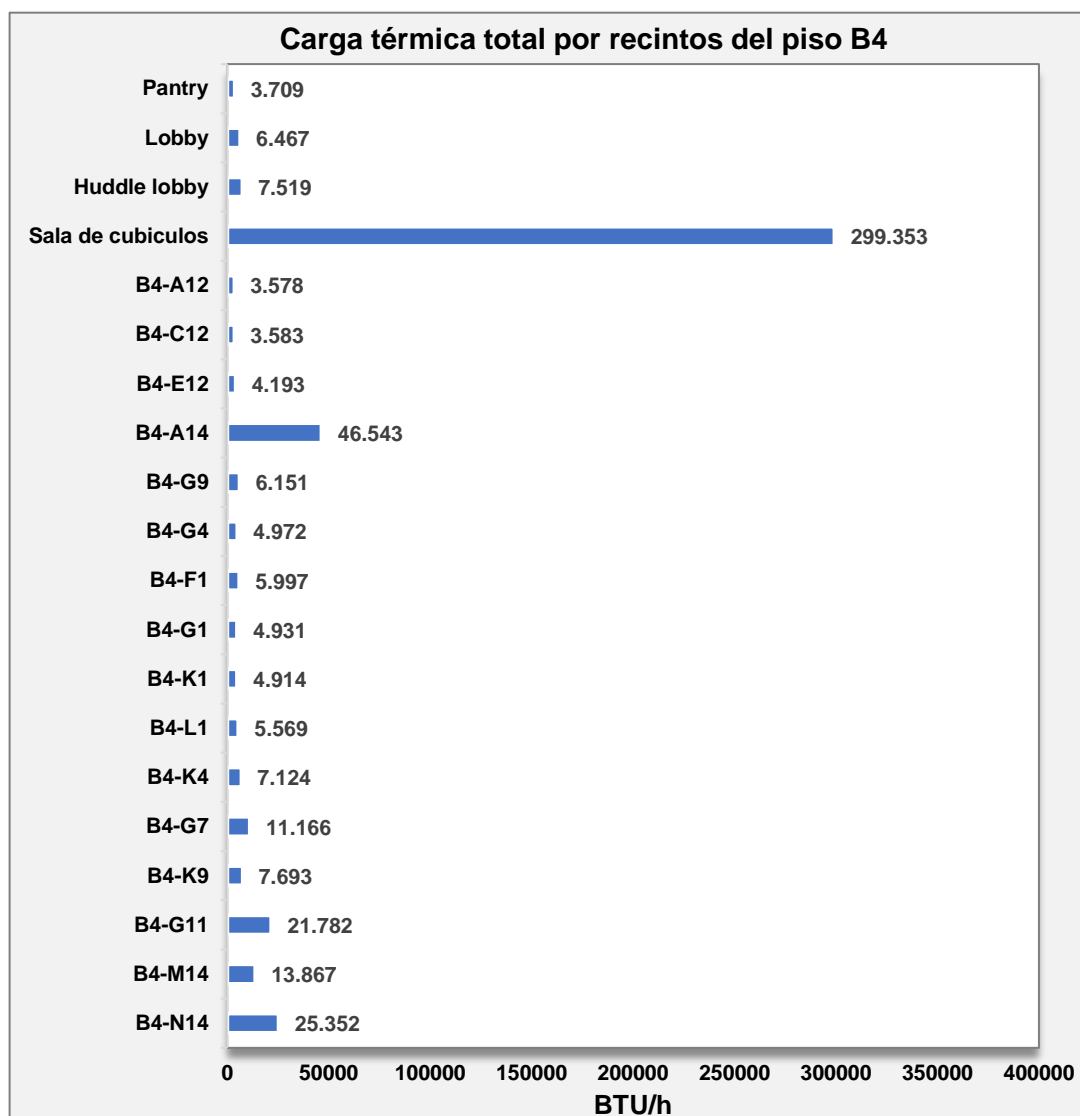


Gráfico 26. Ganancias de calor total por recinto del piso B4, en BTU/h

Fuente: Elaboración propia. MS Excel.

3.5.4 Cálculo de la carga de refrigeración

Al tener cuantificado la carga térmica de todo el edificio, se puede realizar el cálculo de la carga de refrigeración referente a los sistemas de enfriamiento de agua. Para esta selección, se tiene que tomar en cuenta las ganancias sensible y latente obtenidas del cálculo de carga térmica de todos los recintos, y a esto se le aplican factores para obtener las ganancias netas de calor sensibles (GSHG), las ganancias netas de calor latente (GLSH) y las totales (GTSH). Estos factores se aplican por concepto de

ventilación o aire exterior, suministrado por una fuente externa, para mantener el aire en óptimas condiciones sanitarias y de confort. Por la ganancia de calor a través de los ductos (estimado en 5%), y se aplica un FS de seguridad a la ganancia total de un 5%, obteniendo así la ganancia de calor total del edificio.

Al tener un manejo de la capacidad actualizada de refrigeración real requerida por el edificio, se puede visualizar la formulación de propuestas para un cambio de equipo, (dadas las condiciones del equipo actual), o se puede implementar propuestas de manejo de carga, por parte de los chillers, para lograr contemplar escenarios con mejor porcentaje de ahorros. Algunos de estos puntos se podrán en discusión en los siguientes apartados. Al resultado final puede aplicarse un factor de diversidad del 90%, establecido así para edificios de oficinas, teniendo un total de 133 TR.

Tabla 24. Resultados de la carga de refrigeración.

RSHG (BTU/h)	RLHG (BTU/h)	RTHG (BTU/h)	GSHG (BTU/h)	GLHG (BTU/h)	GTSH (BTU/h)	F. S.	GANANCIA TOTAL DE CALOR (BTU/h)	GANANCIA TOTAL DE CALOR (TR)
1313263	311590	1624853	1379067	311712	1690779	5%	1775318	148

Fuente: Elaboración propia. MS Excel.

3.5.5 Análisis de la carga de enfriamiento instalada.

Se realizó un análisis para determinar la capacidad instalada por recinto, para esto fue necesario un levantamiento de los equipos *fan coil* instalados, tomando en cuenta la capacidad de estos y la cantidad de difusores que suministra cada máquina. De esta manera se calcula la carga de enfriamiento instalada por recinto.

Para efectos de análisis, se hicieron algunas consideraciones:

- Se empleó la capacidad descrita en planos, para el equipo *fan coil*.
- Se consideró que los equipos instalados operan con eficiencia de fábrica, con esto, se ignora el envejecimiento del equipo.
- Se hicieron recorridos para contabilizar la cantidad real de difusores, debido a remodelaciones en la instalación.
- Se consideró la equivalencia de 400CFM/TR, dadas las condiciones geográficas.
- Se considera un sistema de aire acondicionado con caudales balanceados.

Ahora bien, las siguientes tablas especifican la codificación de los equipos *fan coil*, establecido por el Departamento de Ingeniería y Operaciones, el modelo, la capacidad correspondiente en CFM y BTU/h, así como la cantidad de difusores a los que se suministra. De esta manera al distribuir los difusores en los recintos que se encuentran instalados (Ver apéndice 4) se puede obtener un total de la carga de enfriamiento suministrada, y realizar un análisis comparativo con la carga de enfriamiento calculada en el apartado anterior.

Este análisis permite cuantificar esa diferencia, en términos porcentuales y energéticos. De esta manera, se contempla las remodelaciones realizadas desde la instalación original, y permite tener noción de las consecuencias de futuras ampliaciones.

Los planos actualizados de la distribución del aire acondicionado indican el modelo de las máquinas, y su capacidad en CFM, mediante selección de criterios en ficha técnica, se obtiene su capacidad en BTU/h (Ver anexos)

Existen entre 9 y 10 unidades *fan coil* por piso, y cada una de estas suministran a recintos por difusores de 4 vías, todos estos son del mismo modelo. Solo existe un recinto en el primer piso, que cuenta con difusores lineales, pero de igual manera, todos del mismo modelo.

En la Tabla 25 se muestran las capacidades de las unidades *fan coil* y sus salidas de aire, para el piso 1. En Apéndice 3 se muestra los resultados para los demás pisos.

Tabla 25. Capacidad y cantidad de difusores de las máquinas fan coil del piso B1.

UNIDADES FAN COIL PISO B1					
Código	Modelo	Capacidad		Difusor 4 vías	Difusor lineal
		CFM	BTU/h		
2103	42BH-020	2060	61800	9	0
2109	42BH-020	2415	72450	0	8
2108	42BH-020	2200	66000	12	0
2104	42BH-020	2200	66000	7	0
2101	42BH-020	2180	65400	6	0
2102	42BH-020	2310	69300	6	0
2106	42BH-012	1410	42300	3	0
2105	42BH-012	1410	42300	7	0
2100-Lobby	42BH-020	2200	66000	6	0

Fuente: Elaboración propia.

Es importante aclarar que los equipos tienen un rendimiento de diseño, establecido por el fabricante en las fichas técnicas, sin embargo, hay una disminución con el pasar de los años. En este análisis se desprecia esa disminución al no haber una regla establecido de cuánto porcentaje se ha reducido.

Al tener la cantidad de difusores de salida para cada máquina, se hace un análisis por recinto, para determinar cuántos de estos difusores están suministrando dentro, y obtener así las cantidades en CFM, BTU/h que llegan al recinto, por parte de la carga de enfriamiento instalada, para un posterior análisis comparativo.

En las Tablas 26 y 27 se muestran los resultados obtenidos para cada recinto de los pisos 1 y 4, los resultados de los pisos 2 y 3 se encuentran en el Apéndice 5.

Tabla 26. CFM, carga de enfriamiento suministrada, e indicador de los recintos del piso 1.

Detalle del piso	Código	CFM suministrado	Carga de enfriamiento suministrado (BTU/h)	Carga de enfriamiento suministrado (TR)	Indicador (BTU/hxft ²)
Piso B1	B1-A12	457,8	13733	1,1	45
	B1-B9	457,8	13733	1,1	31
	<i>Innovation room</i>	2415,0	72450	6,0	99
	B1-K1	314,3	9429	0,8	95
	B1-K2	314,3	9429	0,8	93
	B1-K3	314,3	9429	0,8	141
	B1-K4	314,3	9429	0,8	97
	B1-G10	470,0	14100	1,2	243
	B1-E10	470,0	14100	1,2	243
	B1-D10	470,0	14100	1,2	243
	Sala de cubículos	7529,5	225886	18,8	50
	B1-L8	1466,7	44000	3,7	44
	B1-K8	183,3	5500	0,5	25
	B1-K9	183,3	5500	0,5	49
	Cuarto caliente	366,7	11000	0,9	51
	Cafetería	1100,0	33000	2,8	35
Pasillo	1557,8	46733	3,9	58	

Fuente: Elaboración propia.

El diseño del fabricante dicta que, para condiciones estándar, se tienen algunas consideraciones, una de ellas es suponer 400CFM/TR, siempre y cuando se esté a una altura del nivel del mar, o no superar los 1000 m.s.n.m. Cuando se tiene alturas mayores, la densidad de aire disminuye, como consecuencia para mover una misma cantidad de masa de aire, se necesita desplazar mayor volumen de aire, que, si fuese en condiciones del nivel del mar, por lo que se aplica factores de corrección.

Sin embargo, dada la ubicación geográfica del edificio, se tiene una altura de 847 m.s.n.m. para el cantón de Santa Ana, por lo tanto, se puede asumir la conversión 400CFM/TR, que a su vez se aplica que 1TR=12 000 BTU/h, y así obtener la cantidad de energía calorífica extraída.

El indicador BTU/hxft² especifica valores energéticos para los recintos, se considera un valor referencia para oficinas, entre 55-70 BTU/h xft² los valores por encima de este rango, se considera un sobre diseño en la selección de los equipos de enfriamiento.

Tabla 27.CFM, carga de enfriamiento suministrada e indicador de los recintos del piso 4.

Detalle del piso	Código	CFM suministrado	Carga de enfriamiento suministrado (BTU/h)	Carga de enfriamiento suministrado (TR)	Indicador (BTU/hxft ²)
Piso B4	B4-N14	1040,0	31200	2,6	64
	B4-M14	260,0	7800	0,7	34
	B4-G11	1333,3	40000	3,3	71
	B4-K9	333,3	10000	0,8	96
	B4-G7	1000,0	30000	2,5	138
	B4-K4	366,7	11000	0,9	94
	B4-L1	366,7	11000	0,9	133
	B4-K1	366,7	11000	0,9	203
	B4-G1	366,7	11000	0,9	200
	B4-F1	366,7	11000	0,9	131
	B4-G4	366,7	11000	0,9	94
	B4-G9	333,3	10000	0,8	96
	B4-A14	1177,1	35314	2,9	49
	B4-E12	294,3	8829	0,7	136
	B4-C12	294,3	8829	0,7	136
	B4-A12	294,3	8829	0,7	139
	Sala de cubículos	9230,0	276900	23,1	46
	<i>Huddle lobby</i>	1026,7	30800	2,6	221
<i>Lobby</i>	2053,3	61600	5,1	109	
<i>Pantry</i>	1000,0	30000	2,5	176	

Fuente: Elaboración propia.

3.5.6 Análisis comparativos de las cargas de enfriamiento.

En los apartados anteriores se realizaron cálculos para determinar la carga térmica o de enfriamiento por recinto, necesario para el confort térmico, y se ha determinado la carga de enfriamiento instalada que se tiene en los recintos. Dadas estas condiciones, es prudente poner en análisis estos resultados, de tal manera se puede llegar a visualizar condiciones críticas o de sobre diseño, de tal manera que sea gestionado por la organización para tomar en cuenta futuras ampliaciones o modificaciones en la estructura interna del edificio, o llegar a una eventual sustitución de equipos por máquinas nuevas con mayor rendimiento. Por otra parte, al tener noción de los recintos que se encuentran en condiciones críticas, sirve de soporte para la gestión de ControlSoft Systems, quien maneja un sistema centralizado de control (DDC) para el Aire acondicionado, como se ha mencionado, para mantener las condiciones de confort siendo energéticamente eficientes, mediante la automatización.

3.5.6.1 Condiciones del aire de suministro.

Para mantener las condiciones de temperatura y humedad del recinto en los valores confortables, se debe eliminar los calores sensible y latente en él. El acondicionar un recinto mediante aire, logra la eliminación de esa energía calorífica al suministrar aire a temperatura y humedad menores a la del recinto.

Para evitar que varíen las condiciones del recinto, no debe haber un cambio de energía dentro de él, esto quiere decir que la energía entrante debe ser igual a la energía saliente. Al considerar el flujo de energía entrante como las ganancias de calor del recinto (sensible y latente), se debe suministrar un flujo de energía saliente de igual contenido energético, para establecer el diferencial energético igual a cero.

Todo esto implica un análisis psicrométrico que establezca las condiciones del aire de suministro y las capacidades del serpentín, sin embargo, dados los objetivos del proyecto, solamente se analizará la parte inicial de este análisis, para obtener la cantidad de CFM requerido por recinto, dada la carga térmica de cada uno, y ponerlo en contraste con la cantidad suministrada según planos de diseño.

Hay que tener claro que los CFM de aire de suministro no deben ser ni pocos ni demasiados, para evitar la incomodidad del escaso movimiento, o de las corrientes de aire.

Para esto, se hace uso de la Ecuación 7, tomando en cuenta las condiciones de diseño del recinto, a una temperatura de 75°F como se estableció para el cálculo de la carga térmica, la diferencia de temperatura entre el aire de suministro y del recinto debe estar en un rango entre 15 y 30 °F, y según recomendación de ASHRAE, se escoge 20°F. Al tener las ganancias de calor sensible de los recintos, se puede obtener la cantidad de CFM requeridos para el confort.

Tabla 28. Requerimientos de CFM según análisis psicrométrico para los recintos de B1.

Recintos piso B1	CFM suministrado	CFM Psicrometría
B1-A12	458	386
B1-B9	458	524
<i>Innovation room</i>	2415	541
B1-K1	314	216
B1-K2	314	179
B1-K3	314	84
B1-K4	314	163
B1-G10	470	100
B1-E10	470	163
B1-D10	470	177
Sala de cubículos	7530	7206
B1-L8	1467	1141
B1-K8	183	305
B1-K9	183	48
Cuarto caliente	367	1468
Lobby-cafetería	1100	372
Pasillo	1558	177

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29. Requerimientos de CFM según análisis psicométrico para los recintos de B2.

Recintos piso B4	CFM suministrado	CFM Psicrometría
B4-N14	1040	955
B4-M14	260	491
B4-G11	1333	793
B4-K9	333	269
B4-G7	1000	403
B4-K4	367	254
B4-L1	367	207
B4-K1	367	189
B4-G1	367	189
B4-F1	367	215
B4-G4	367	168
B4-G9	333	198
B4-A14	1177	1710
B4-E12	294	144
B4-C12	294	128
B4-A12	294	128
Sala de cubículos	9230	11277
<i>Huddle lobby</i>	1027	295
<i>Lobby</i>	2053	191
<i>Pantry</i>	1000	95

Fuente: Elaboración propia.

3.5.6.2 Comparación energética

En el apartado 3.5.5 se determinó la carga de enfriamiento del recinto, suministrado por las unidades *fan coil*, mediante difusores de techo en una configuración de 4 vías, y difusores lineales, según el caso. Entonces al tener conocimiento de la carga térmica por recinto, es posible establecer un análisis comparativo que permite identificar en términos energéticos, si se logra cumplir las condiciones reales requeridas. Al poner esto en evidencia, se pueden justificar las situaciones de discomfort térmico, desde un punto de vista externo a la capacidad de los equipos instalados, en caso de que se cumplan las condiciones. Hay que recordar que el análisis de los equipos se dio mediante un estudio de los planos actualizados, y recorridos para determinar la cantidad real de salidas de las máquinas. Mientras que la carga térmica de los recintos

se calculó de manera manual mediante una hoja electrónica y con la metodología establecida por Pita (2014).

De manera gráfica se presentan los resultados obtenidos, en el apéndice se muestran las tablas con los valores correspondientes, así como la presentación de BTU/hxft² en el Apéndice 7.

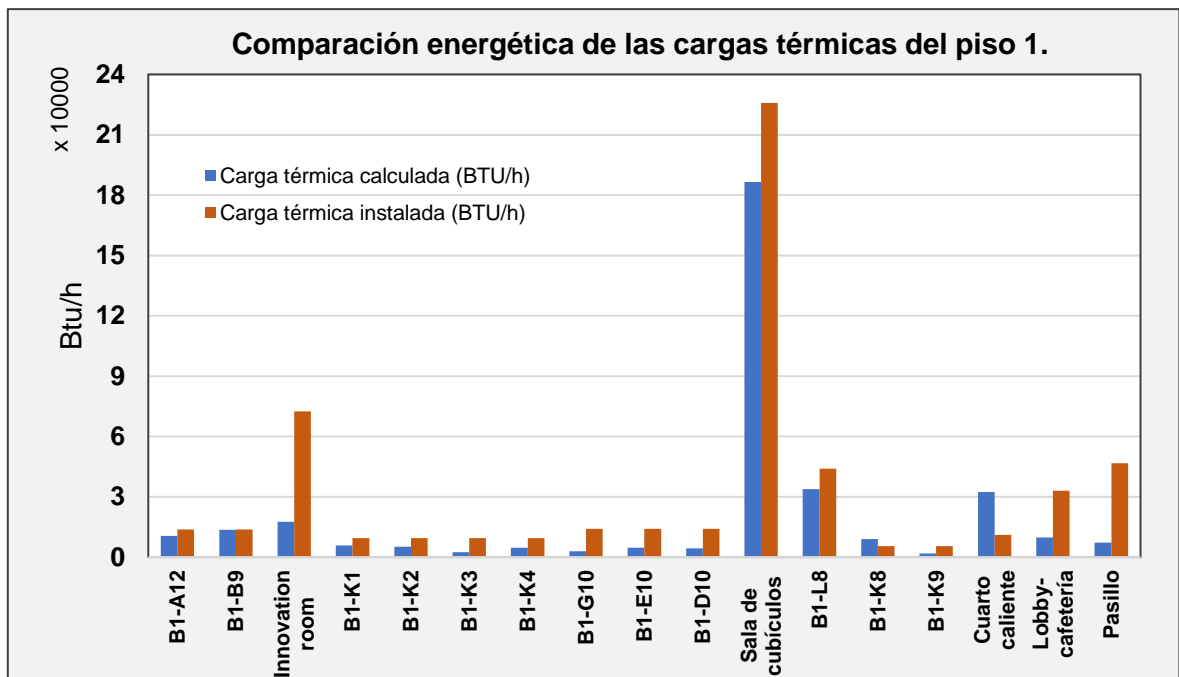


Gráfico 27. Comparación energética de la carga de enfriamiento instalado y la carga térmica calculada de los recintos del piso 1.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel.

El Gráfico 27 muestra dos recintos donde no se cumplen los requerimientos energéticos; el recinto B1-K8, designada como una sala de reuniones, la energía requerida está por encima del 64% respecto de la carga instalada, el otro recinto que no cumple es el denominado cuarto caliente, el cual que limita con la cocina (ubicado en el edificio adyacente) este cuarto contiene tableros, transformadores y demás equipos relacionados al área de cocina industrial, para este tipo de cuartos se estableció 150BTU/h xft², de esta manera hay una déficit del 194% respecto de la carga instalada. Para los demás recintos se considera una diferencia aceptable a favor de la carga instalada.

El Gráfico 288 muestra que la carga instalada cumple los requerimientos energéticos reales, para todos los recintos, en algunos con diferencias porcentuales aceptables a favor de la carga instalada, mientras que en otros la diferencia es mínima (B2-K13 y sala de cubículos).

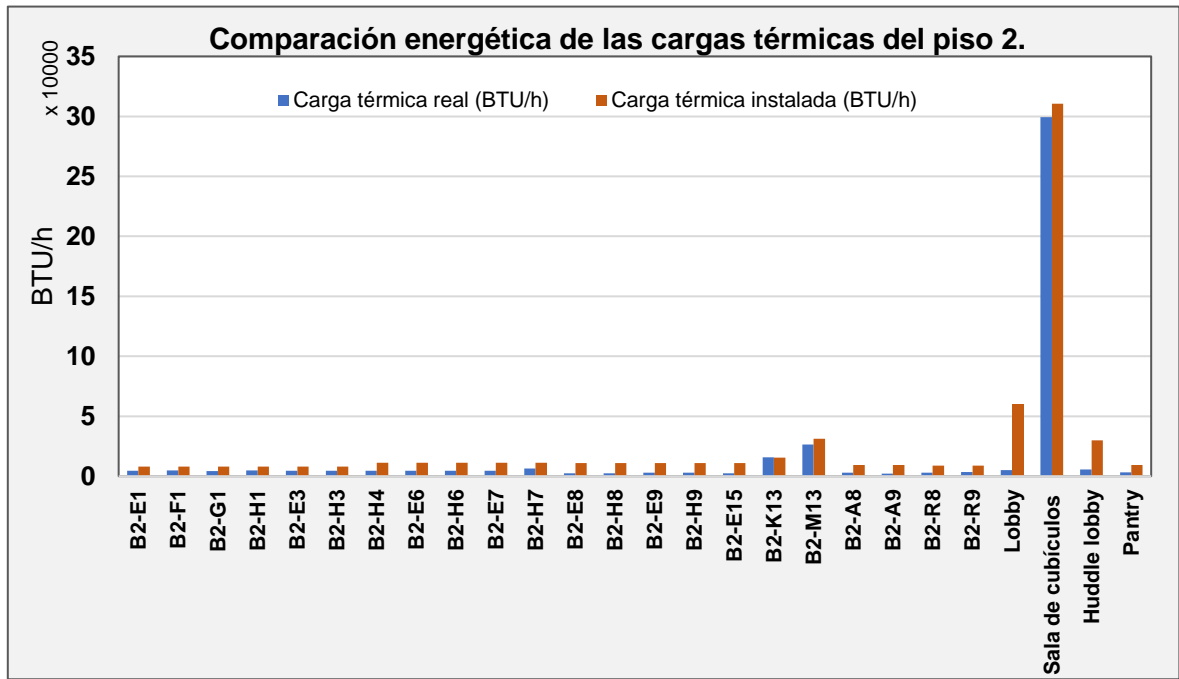


Gráfico 28. Comparación energética de la carga de enfriamiento instalado y la carga térmica calculada de los recintos del piso 2.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel.

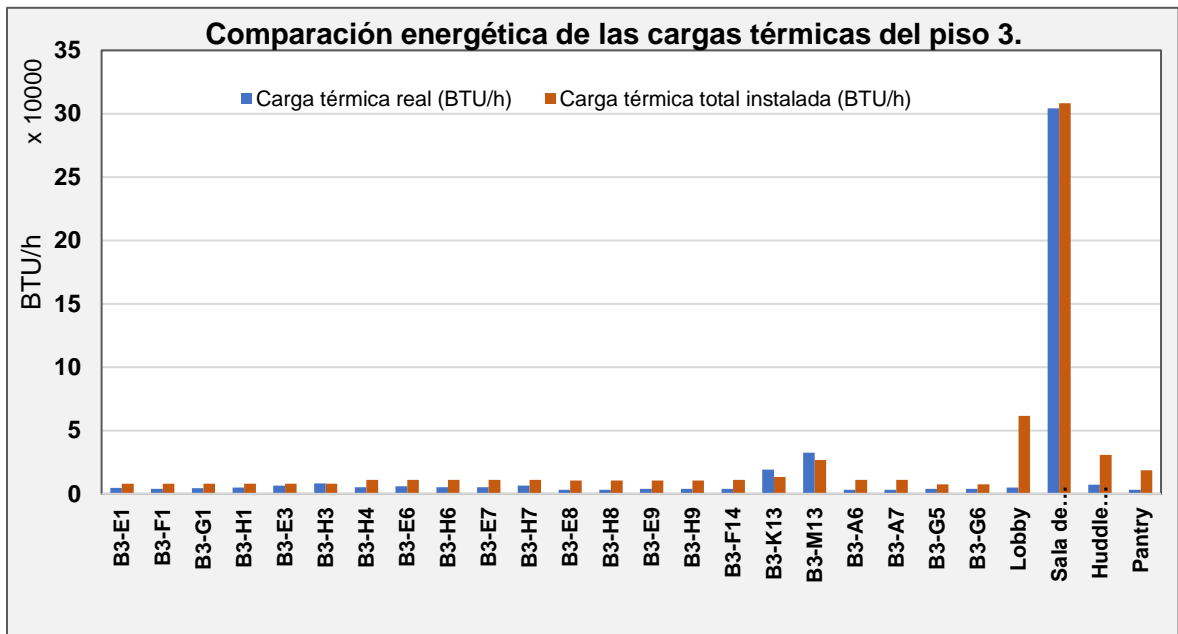


Gráfico 29. Comparación energética de la carga de enfriamiento instalado y la carga térmica calculada de los recintos del piso 3.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel.

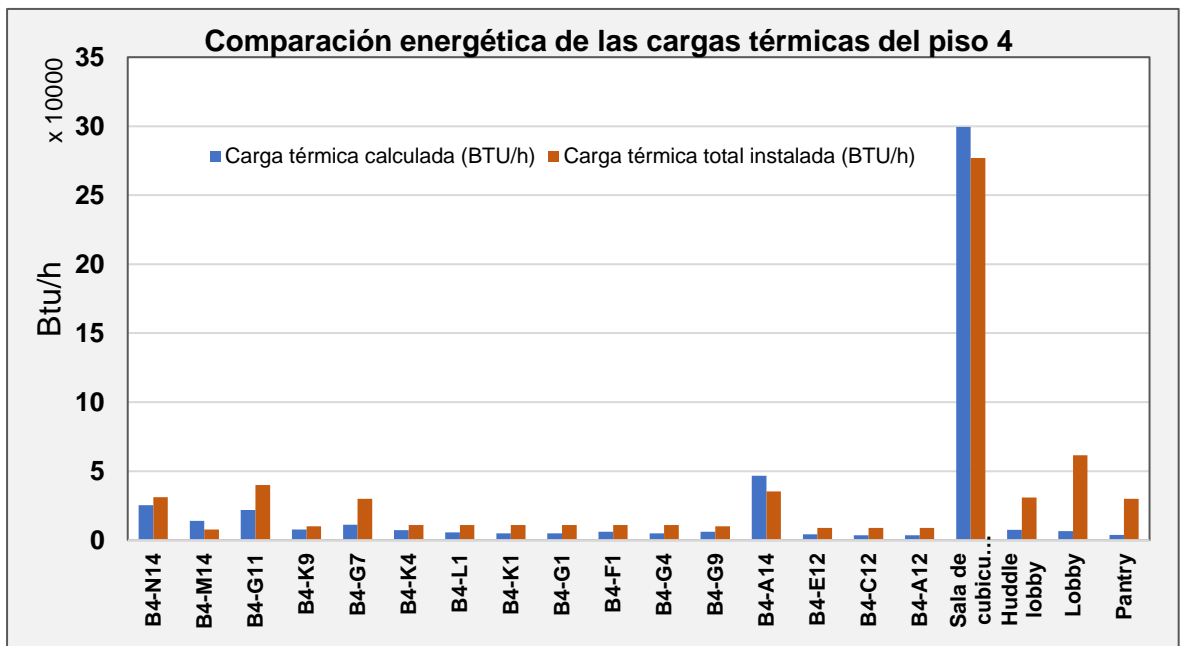


Gráfico 30. Comparación energética de la carga de enfriamiento instalado y la carga térmica calculada de los recintos del piso 4.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel.

El Gráfico 299 señala que los recintos B3-M13 y B3-K13, dedicados a reuniones, no cumplen los requerimientos energéticos de la carga térmica, con un déficit del 22% y 43% respecto de la carga instalada. Para los demás recintos, las diferencias porcentuales son bajas pero aceptables. El Gráfico 30 indica que hay dos recintos que no cumplen, el B4-A14 y las salas de cubículos, con un déficit del 32% y 8% respectivamente, al ser este el último piso, se toma en cuenta la ganancia de calor producida por el techo, dada por conducción a través de la estructura de concreto.

3.5.7 Propuestas de mejora del sistema de climatización.

3.5.7.1 Respuesta a la demanda.

El estudio del perfil energético del edificio brinda el comportamiento del consumo en periodos establecidos, en este caso se realizó de acuerdo a la jornada de operaciones en el edificio, el cual abarca de manera completa los periodos Valle y Punta (Ver Gráfico 3), y pocas horas del periodo nocturno pero con una demanda considerablemente menor.

Del Gráfico 10 se puede diferenciar los consumidores significativos del edificio: *chillers* y pisos. Dado este comportamiento, se analizarán las variables representativas de cada uno y la potencia activa acumulada debido a una combinación de cargas en una cantidad de horas establecidas desde el arranque de equipos hasta más allá del final de la jornada laboral. Al lograr establecer un control en estos entes consumidores se logra obtener una respuesta sobre el 80% de la variable en análisis, en este caso la demanda máxima del edificio. Además, dada la naturaleza de las demás divisiones, no es recomendable intervenir en sus operaciones.

Para el análisis se tomó un día del mes de Agosto, para lograr observar el comportamiento de los valores máximos. Del estudio del perfil energético de los *chillers* Gráfico 13 se puede observar que el comportamiento es variable, debido la alternancia de estos que incluso se da para una misma jornada de operación, además debido a la configuración establecida, solo trabaja un chiller, y si al llegar al 100% de carga este no logra alcanzar la temperatura de suministro determinada (42°F) de manera automática se activa el otro *chiller*, se ha observado que esto llega a pasar con frecuencia. Por otro lado, al analizar el perfil de los pisos del edificio, se observa un comportamiento poco variable para los pisos 2 al 4, y el piso 1 presenta ligeras variaciones a lo largo del día pero no de mayor magnitud, el Gráfico 31 muestra este comportamiento a lo largo de una jornada laboral, este es un promedio de los días del mes de Agosto, y al calcular la desviación estándar de la muestra, no se observa gran variación de datos respecto al promedio, se aplicó lo mismo para el mes de abril y el resultado fue similar.

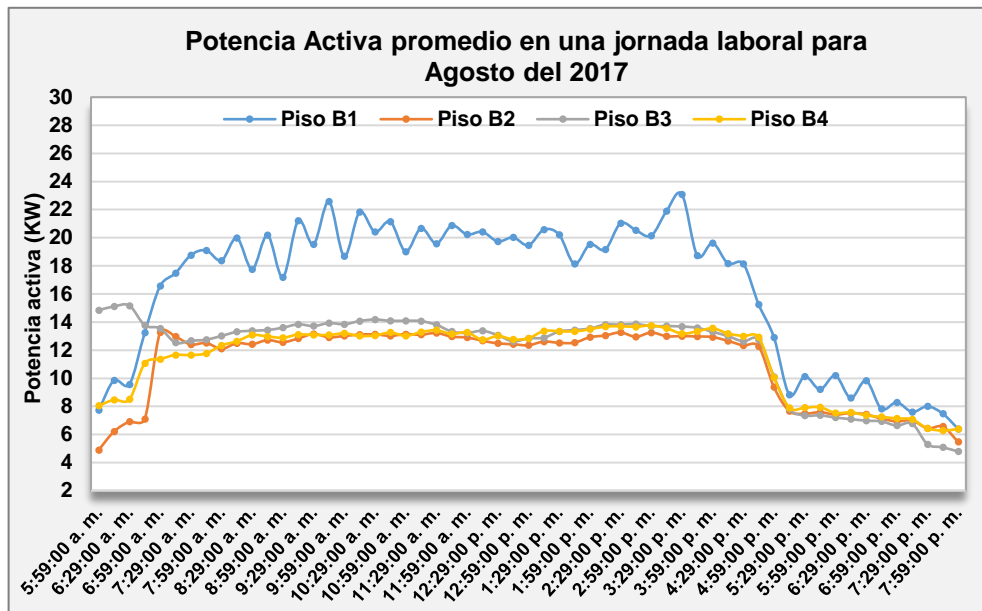


Gráfico 31. Potencia activa promedio en una jornada laboral de Agosto.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel.

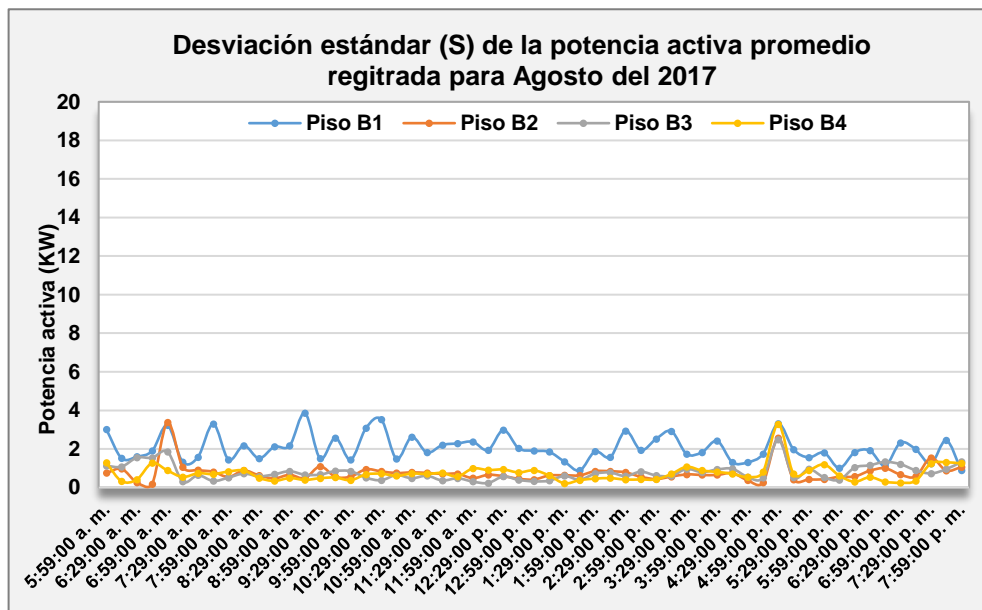


Gráfico 32. Desviación estándar de la potencia activa promedio para Agosto.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel

Dada esta información, puede afirmarse con seguridad que los perfiles energéticos de los pisos del edificio muestran una tendencia similar en demanda para una jornada, mientras que los *chillers*, por el contrario, determinan esta variable, debido a la gran magnitud de consumo para un 100% de porcentaje de carga que al menos uno de los chillers va a alcanzar debido a la configuración de operación, para un día de operación sin imprevistos.

Al establecer estos parámetros se puede graficar el acumulado de potencia demanda para dos días aleatorios de Agosto del 2017, un día sin imprevistos de operación, y que presentó picos en el período punta y Valle, tal como se observa en los Gráficos 33 y 34. Así mismo al interponer estos datos, se observa una tendencia similar, se puede estimar que el perfil de la demanda energética del edificio tendrá este comportamiento, pero con magnitudes mayores debido a las cargas pertenecientes a los “pocos vitales”.

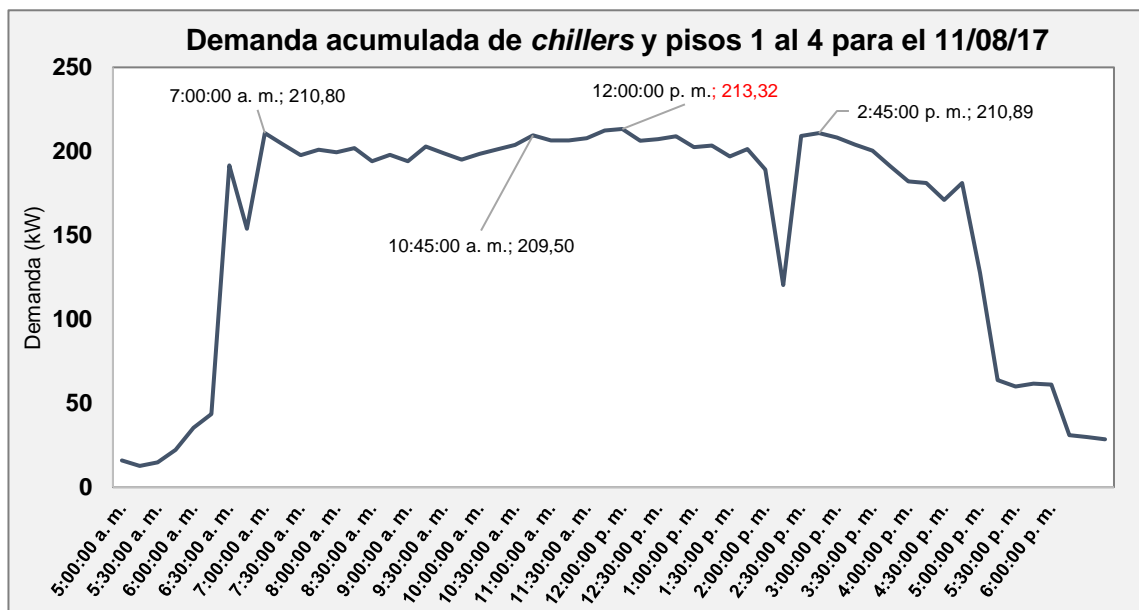


Gráfico 33. Representación acumulada de la demanda para chillers y pisos 1 al 4, 11/08/17

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel

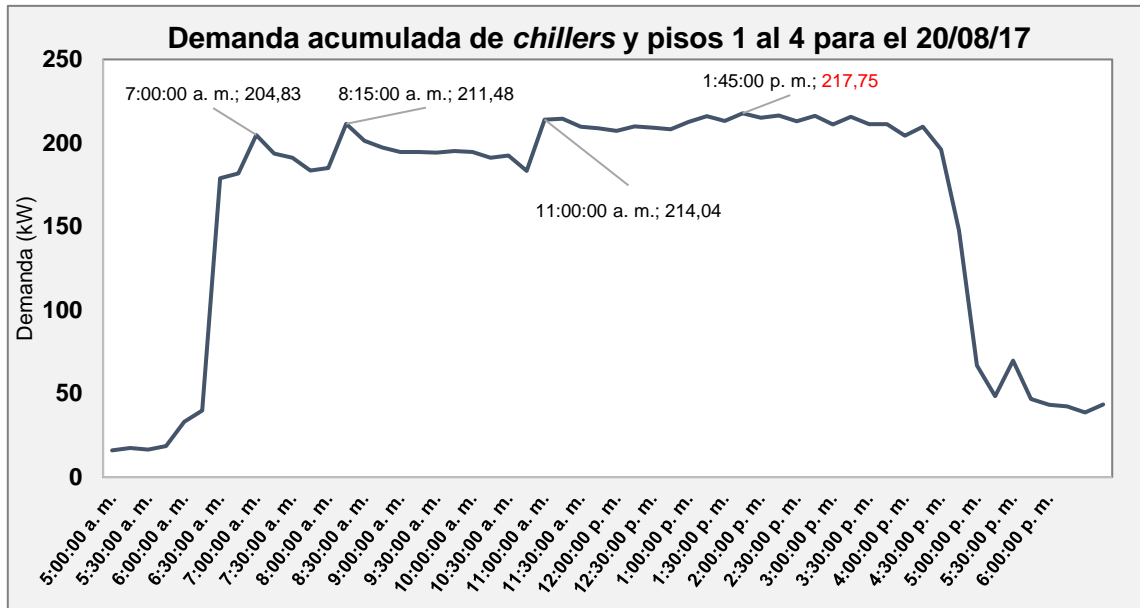


Gráfico 34. Representación acumulada de la demanda para chillers y pisos 1 al 4, 20/08/17

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel

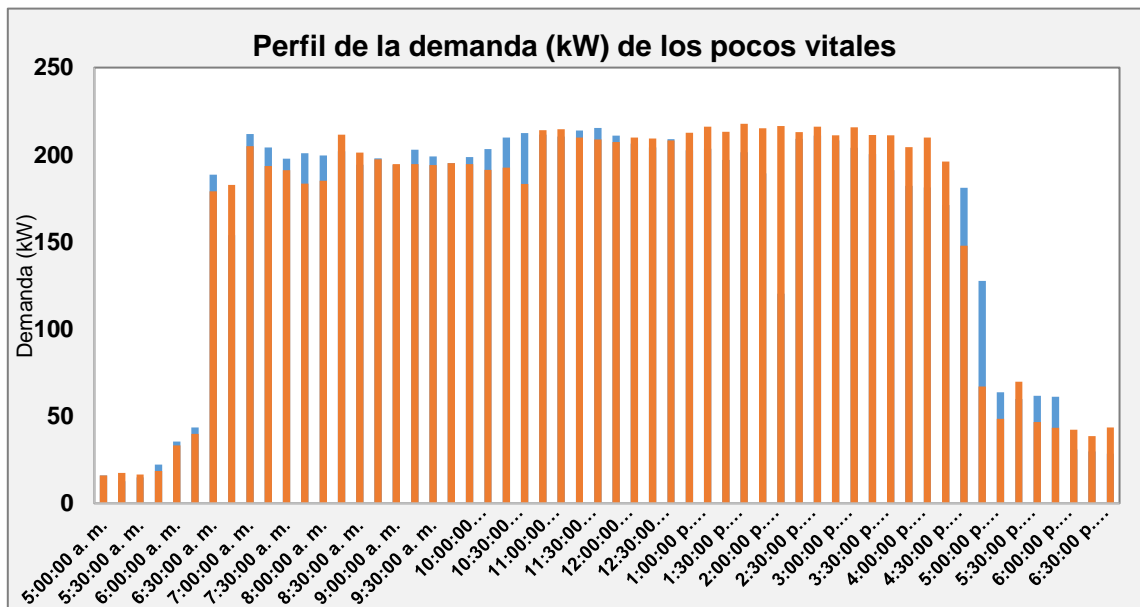


Gráfico 35. Perfil de demanda del edificio.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel

Para un análisis genérico, se establece que para un día aleatorio (sin imprevistos) de observación, se presentará una curva similar, las variaciones determinantes será en la demanda de los chillers lo que definirá el registro de demanda máxima en el periodo Punta o Valle. Pues, del Apéndice 11 se puede observar que el histórico de demanda registra en todos los meses una demanda máxima para el periodo Valle, para los pisos 1 al 4, por otro lado, para los chillers el registro es variable, con valores cercanos entre los dos períodos. Del histórico de consumos (Ver *Gráfico 3*), se puede observar que en los últimos meses la demanda máxima general ha sido registrada en el período Valle, sin embargo, con una diferencia mínima esto podría quedar en el Punta, perjudicando en gran manera, pues es el período de cobro más alto.

El objetivo por alcanzar es mantener un control de esta curva y establecer estrategias de respuesta a la demanda, a lo largo de un período laboral, así reducir la demanda máxima registrada.

Ahora bien, de la gráfica se muestra que la demanda es alta en toda la jornada, por lo que se definen tres escenarios de los cuales se podrán extraer criterios para buscar una respuesta efectiva.

- **Escenario I: Arranque de los equipos. (Primer horario Valle).**

Los chillers arrancan de manera programada a las 6:30am, los equipos *fan coil* también de igual manera están programados para arrancar, la mayoría de estos a las 7:00 am, con algunas excepciones para los pisos para los pisos 3 (6:00 am) y 4 (6:00 y 6:40am), esto se detalla en el Apéndice 9, mientras que la iluminación se da por sensores de presencia. Hay que considerar que las unidades *fan coil* que suministran a las salas de reuniones, cuentan con variador de frecuencia, mientras que las que suministran a las salas de cubículos se da un arranque directo.

Entonces, para las máquinas con variador se da un arranque suave, y el comportamiento de la frecuencia de operación está relacionado a un *set point* de temperatura promedio de los recintos a los que la máquina suministra. Por lo que al alcanzar este valor (vencer la inercia térmica inicial sin ocupantes) la frecuencia del motor puede disminuir hasta el 40% de la nominal, esto puede darse en un lapso de

20-30 minutos después del arranque, lo que provoca que los kW demandados caigan para los motores con variador en la primera hora del arranque, hasta que las salas de reuniones lleguen a ocuparse y se tenga que aumentar la frecuencia del motor para alcanzar de nuevo el *set point*.

Para el caso de las máquinas con arranque directo, se estima que la corriente de arranque puede llegar a valores de hasta 6 veces la corriente nominal debido a las características del motor. (Letra código K) esto provoca un aumento intensificado de la demanda, pero en tan solo unos segundos, y que, según el historial de consumos, no perturba los datos de demanda pues no llegan a registrarse estos picos por el medidor (registro cada 15 minutos), sin embargo, el motor podría llegar a sufrir desgaste, así como los conductores y contactores (motores entre 1 y 1 ½ hp). Una vez que el motor alcanza el punto de operación, continúa trabajando a potencia nominal, pues en estas máquinas el control se realiza sobre el flujo agua helada al evaporador. El gráfico 36 muestra el comportamiento del arranque de las unidades *fan coil* contemplando todos los parámetros mencionados, se alcanza un pico en demanda acumulada por todas las unidades de 52,6kW alrededor de las 7:00am.

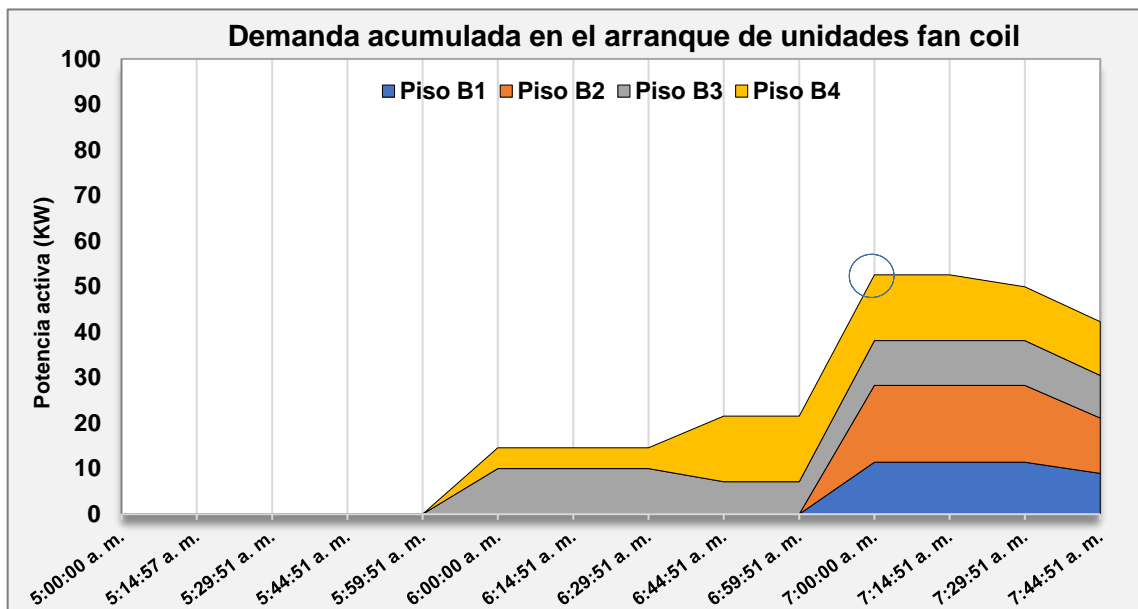


Gráfico 36. Distribución actual de las unidades *fan coil*.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel

Una opción conveniente es hacer una secuencia en el arranque de las *unidades fan coil*, para evitar que se genere este pico evidenciado que podría afectar desde un punto de vista general. Al tomar en cuenta las máquinas con variador de frecuencia, se puede aprovechar la disminución de la potencial nominal y efectuar arranques secuenciales en las primeras horas de la mañana. La alternativa seleccionada fue la que se muestra en el Gráfico 37, una distribución secuencial de las máquinas, que empieza al terminar el período nocturno (5:30am) con una demanda máxima de 41,67 kW para esta configuración, con una reducción del 20% respecto al arranque actual.

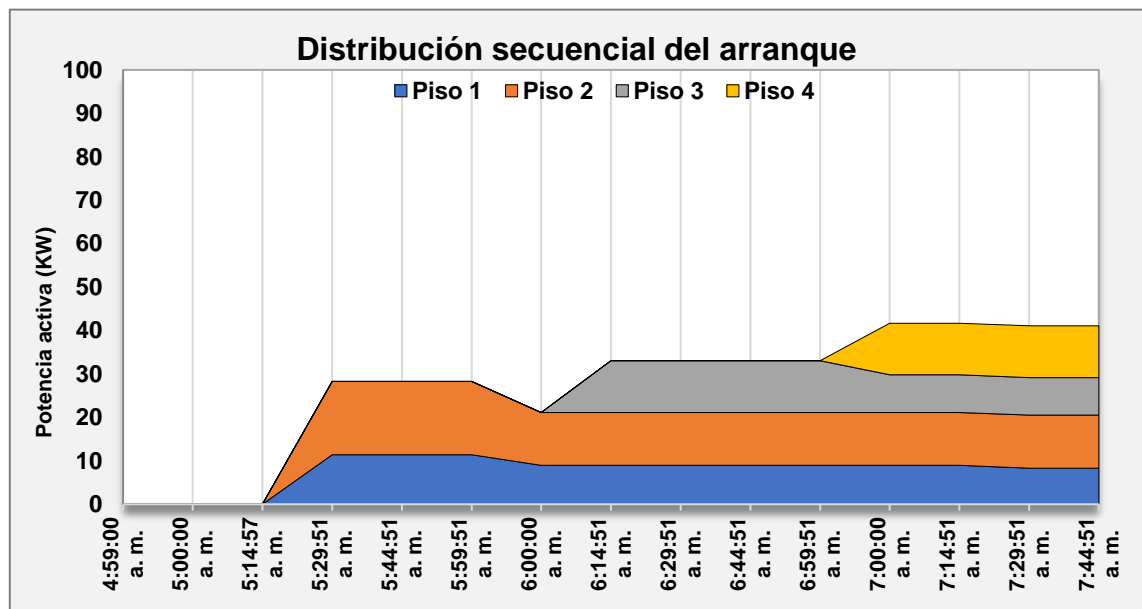


Gráfico 37. Propuesta secuencial de arranque de unidades *fan coil*.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel

- **Escenario II: Periodo Punta en la jornada laboral.**

Este escenario debería ser el de mayor control, a pesar de ser el período de cobro con menor cantidad de horas presentes dentro de la jornada laboral (10:01 a 12:30pm), al inicio de este período se presenta uno de los picos importantes de simultaneidad de cargas; aquí la demanda por parte de los chillers aumenta y se entiende hasta horas de la tarde (aprox. 4:00pm), por el lado del consumo de los pisos, hay un aumento entre la primera y segunda hora de este período, con una ligera disminución para el

medio día, debido a horas de almuerzo, que puede extenderse hasta las 2pm en general, a partir de estas horas la demanda aumenta, pero llega a ser parte del segundo horario del período Valle.

La operación de los chillers responde a lo requerido por los pisos, y su alternancia se da casi de manera imprevista como se explicó en el apartado 3.5.2 *Perfil energético de las plantas de agua helada*. El diseño pertenece a un sistema enfriado por aire, donde el refrigerante se enfría por conducción forzada, y las principales variables de rendimiento son la temperatura del aire circulante, velocidad del aire y la humedad relativa, debido a esto la variación del perfil de consumos puede presentar valores máximos en condiciones ambientales adversas que no permiten llegar al *set point* de temperatura del agua, lo que provoca que además de tener un chiller operando al 100% de carga, tenga que entrar el chiller de respaldo a un porcentaje de carga con una baja eficiencia, además se han observado pico en kW por encima de los valores de diseño (± 10 kW) y temperaturas de diseño (temp ambiente: 85°F y temp suministro 42°F), esto indica una pérdida de la eficiencia global del equipo o requerimiento de labores de mantenimiento.

Al conocer las condiciones descritas, las soluciones de alto impacto deberían estar dirigidas a la operación de los chillers, mientras que soluciones de mayor criterio y cuidado para los consumos de los pisos, pues en horas pico de operaciones del personal, es transcendental mantener el confort general. Algunas propuestas se analizan en la siguiente sección.

- **Escenario II: Segundo horario Valle.**

En este período se estima que los valores máximos alcanzados están cercanos a las 2pm, considerada la hora crítica, la hora más caliente a la que se presenta la mayor carga térmica, dependiendo del caso, por lo que es recomendable prestar atención a este factor, y buscar alternativas para controlarlo. Según lo calculado en la carga térmica, un aspecto determinante para el aumento de esta es la iluminación, pues la densidad de luminarias por área es considerable. Esto puede controlarse por medidas activas para el control de la iluminación, por medio de atenuación, recorte de capacidad máxima, entre otros, esto se discutirá en el apartado 3.6.

3.5.7.2 Alternativas para el refrigerante R-22.

El R-22 es un refrigerante perteneciente al grupo de los hidroclorofluorocarbonos (HCFC) este refrigerante fue desarrollado para operar a bajas temperaturas debido a que en condiciones de presión atmosférica estándar tiene un punto de ebullición de -40,8°C (Dossat, 2009). Cuando el R-22 escapa al aire, los rayos ultravioletas del sol lo descomponen, y se libera cloro a la estratosfera, provocando daño a la capa de ozono y todos los efectos colaterales que esto conlleva.

Esto es sabido a nivel mundial, por lo que se han establecido los protocolos ambientales (Montreal y Kioto) para protección de la capa de ozono, que dictan una desaparición progresiva para los siguientes años, establecido desde el año 1987. Costa Rica ratifica este Protocolo de Montreal a través de la Ley 7223 en 1991.

El diseño de las plantas enfriadoras de agua establece una operación con R-22, esto se comprende al ser un sistema con unos 20 años de operación. Pero, se tienen que buscar alternativas para la eliminación de este refrigerante a corto plazo.

En la siguiente figura se muestran alternativas de sustitución para este refrigerante, por refrigerante permitidos y de mucho menor impacto.

Nombre comercial	Número ASHRAE	Componentes [%]								Reconversión ó sustitución para	
		HFCs				Hidrocarburos					
		R32	R125	R134a	R143a	R218	R290	R600	R600a		R601a
R-404A	404A		44	4	52						R22
R-507	507		50		50						
AC9000	407C	23	25	52							
Forane 427A	427A	15	25	50	10						
Isceon 59	417A		46.6	50			3.4				
RS-44	424A		50.5	47			1	0.9	0.6		
Icor XAC1	422B		55	42				3			
RS-45	434A		63.2	16	18			2.8			
Isceon MO29	422D		65.1	31.5				3.4			
RS-52	428A		77.5		20		0.6	1.9			
Icor XLT1	422C		82	15				3		R402, R403, R408A	
Isceon MO79	422A		85.1	11.5				3.4			
RS-24	426A		5.1	93				1.3	0.6	FX56, R409A, R12	
R-413A	413A		88			9		3			

Figura 17. Alternativas de conversión para el R-22

Fuente: DANFOSS

El hecho que a nivel mundial se haya eliminado el R-22 en su estado virgen afecta indirectamente a los equipos que operan con él, pues el mantenimiento solo se podrá

darse con R-22 reciclado o recuperado. Esto provocaría que se den problemas de *stock* a mediano plazo y aumentos de precio. Al no disponer de R-22 recirculado, no se podrán realizar las tareas de mantenimiento (por ejemplo, un cambio de compresor) provocando que queden fuera de servicio o en condiciones ineficientes por períodos considerables.

El procedimiento para sustitución de refrigerante metódico y tiene algunas complicaciones si no se realiza de manera correcta. Para el R-22 con aceite mineral Según DANFOSS (2009) se tienen que tener en cuenta las siguientes condiciones:

Criterios de decisión

Cuando se planea una reconversión o sustitución de gas, en sistemas de R22 con aceite mineral, se deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Realizar un análisis concienzudo de la instalación y de los costes de la reconversión.
- Tener en cuenta el tiempo de la instalación y de sus componentes principales.
- Estimar cuánto tiempo más puede estar funcionando la instalación y qué componentes pueden requerir un cambio en breve; esto va a tener una gran influencia en la elección del mejor proceso de reconversión.

Pérdida de capacidad frigorífica

Esto es parcialmente debido a las propiedades termodinámicas del nuevo refrigerante, además el gran deslizamiento de algunas mezclas puede provocar una reducción de capacidad de los intercambiadores de calor de hasta el 7%. La miscibilidad parcial del aceite con las mezclas refrigerantes puede hacer perder hasta otro 5% de capacidad en el intercambio de calor. La reducción de la capacidad frigorífica puede tener distintas consecuencias en cada una de las instalaciones en las que se realice una reconversión del gas refrigerante actual (R22).

Procedimientos para la sustitución del R22.

Según DANFOSS (2009) se establecen 4 procedimientos para un reemplazo de R-22.

1) Sustitución directa (*Drop-in*):

El refrigerante HCFC se reemplaza por el alternativo sin ningún cambio adicional que el de las etiquetas con nombre del nuevo refrigerante y las cantidades.

2) Reconversión menor (*Light retrofit*):

El aceite y los filtros se cambian.

3) Reconversión estándar (*Standard retrofit*):

Como en el punto anterior, pero con un segundo cambio de aceite.

4) Reconversión profunda (*Heavy retrofit*):

El circuito se limpia y se cambia la válvula de expansión. Se cambian el aceite y el filtro deshidratador. En este caso, la mejor opción es cambiar también el compresor. Se considera como la mejor alternativa para el correcto funcionamiento.

Al tomar en cuenta todos estos aspectos, queda a criterio de la organización establecer un plan de acción. Dados los alcances del proyecto no se profundizará en este apartado, se recomienda realizar un estudio que determine con criterio de experto, las condiciones para sustitución de refrigerante u otras alternativas que podría inclinarse a un cambio de equipos, o incluso de todo el sistema, por algunas alternativas más eficientes que serán mencionadas más adelante.

3.5.7.3 Alternativa sistema enfriado por agua.

Por las condiciones del equipo instalado, los inconvenientes del R-22, además del conocimiento de la carga térmica máxima real que debe manejar el equipo, se brinda la alternativa de un sistema enfriado por agua, por medio de un análisis comparativo se presentará los datos desde varios puntos de vista.

- **Sistema actual**

El diseño de las plantas enfriadoras instaladas corresponde a un sistema de enfriamiento de condensadores de manera directa por conducción forzada a través de 8 ventiladores. Esta transferencia de calor es afectada por variables climatológicas; temperatura y velocidad del aire circulante, e incluso la humedad relativa entra en juego, favoreciendo el enfriamiento cuando se da a mayores porcentajes. Las condiciones climáticas según los datos brindados por el IMN, brinda un resumen histórico con una temperatura máxima de 29,5°C y una humedad relativa de 73%. Según los datos del fabricante y las condiciones de operación, se puede hacer un análisis de cargas parciales, esto para comparar con el otro sistema, pues en este caso, se sabe que el sistema actual trabaja con al menos un chiller al 100% de carga. La siguiente tabla indicada el comportamiento de consumo del sistema según la demanda (*1 chiller*) incluyendo las bombas de agua, hay que hacer énfasis que son sistemas de caudal constante, por lo tanto, se considera que las bombas estarán al 100% de su capacidad para cualquier porcentaje de carga del *chiller*.

Tabla 30 Análisis de la eficiencia del sistema actual mediante el indicador kW/Ton para distintos porcentajes de carga.

%Carga	Consumo (kW)			kW/Ton
	Chiller	Bombas	Total	
10%	13,0	7,250	20,200	1,77
20%	25,9	7,250	33,150	1,45
30%	38,9	7,250	46,100	1,35
40%	51,8	7,250	59,050	1,29
50%	64,8	7,250	72,000	1,26
60%	77,7	7,250	84,950	1,24
70%	90,7	7,250	97,900	1,23
80%	103,6	7,250	110,850	1,22

90%	116,6	7,250	123,800	1,21
100%	129,5	7,250	136,750	1,20

Fuente: Elaboración propia.

Al graficar se obtiene el comportamiento especificado en el Gráfico 38, donde a mayores porcentajes de carga el indicador (kW/Ton) cae de manera progresiva, esto quiere decir que hay un menor consumo energético por tonelada de refrigeración producida, por lo tanto, la eficiencia del sistema es mayor.

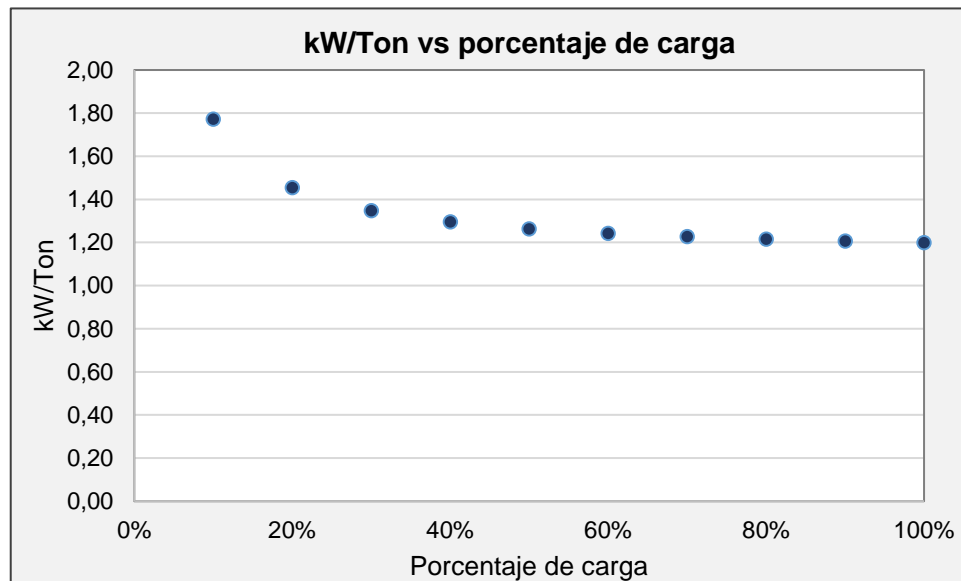


Gráfico 38. kW/Ton vs porcentaje de carga del sistema de climatización actual.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel

- **Sistema enfriado por agua.**

Se propone una operación con un sistema enfriador por agua, para esto se selecciona un chiller de la marca Carrier modelo: 30HXC146R—671 con una capacidad nominal de 146 TR, seleccionado así al tomar en cuenta la carga de refrigeración necesaria por el edificio (148 TR) que al aplicar un factor de diversidad del 90% da una capacidad necesaria de 133 TR. Se seleccionó el equipo anterior debido a disponibilidad en el

mercado, así como un criterio muy conservador de selección. La configuración del sistema implica tener 2 chillers, sólo 1 va a operar y el otro será respaldo, por lo que se tiene que asegurar que sólo 1 chiller logre manejar la carga térmica requerida. Esta operación podría alternarse en periodos semanales o mensuales. Así mismo hay que tener en cuenta que un sistema enfriado por agua implica el enfriamiento evaporativo mediante una torre (BAC, mod: PTE 0709^a-3J-L1), por lo que se debe tener certeza de las dimensiones reales requeridas, y del espacio disponible. Las bombas seleccionadas logran manejar el caudal de enfriamiento del chiller seleccionado. Se hace una estimación desde el punto de vista energético del sistema enfriado por agua, tomando en cuenta todos los elementos requeridos, así se muestra en la Tabla 31 el perfil de cargas parciales y el indicador kW/Ton de la operación de todo el sistema.

Tabla 31. Análisis de la eficiencia del sistema propuesto mediante el indicador kW/Ton para distintos porcentajes de carga.

%Carga	Consumo (kW)			Total	kW/Ton
	Chiller	Bombas	Torres		
10%	8,0	10,124	0,006	18,132	1,24
20%	16,3	10,124	0,048	26,492	0,91
30%	24,4	10,124	0,161	34,675	0,79
40%	32,9	10,124	0,382	43,436	0,74
50%	42,1	10,124	0,746	52,980	0,72
60%	55,5	10,124	1,289	66,913	0,76
70%	73,1	10,124	2,047	85,301	0,83
80%	85,7	10,124	3,055	98,889	0,85
90%	96,9	10,124	4,350	111,364	0,85
100%	104,9	10,124	5,968	120,992	0,83

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera se puede graficar tal comportamiento.

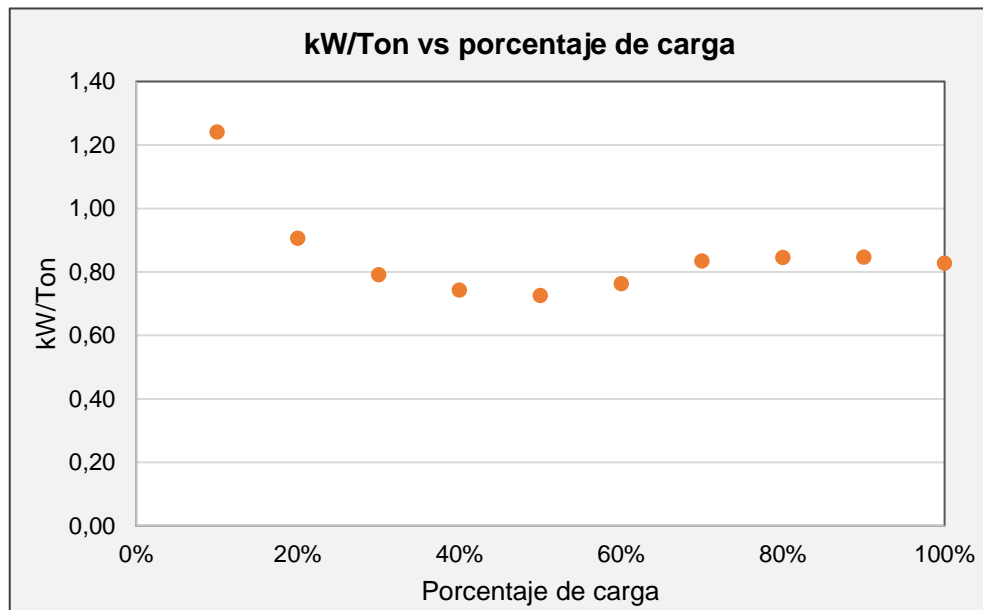


Gráfico 39. kW/Ton vs porcentaje de carga para el sistema propuesto.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel

- **Comparación energética**

Desde el punto de vista energético, se pone en análisis la eficiencia de los chillers, según tipo de enfriamiento de los condensadores. Se hace uso de dos indicadores de eficiencia: kW/Ton y SEER, los datos son suministrados por el fabricante del equipo para distintas temperaturas de entrada al condensador, y son propios de los equipos en análisis.

El indicador kW/TON establece que el chiller enfriado por aire tiene un mayor crecimiento proporcional respecto al aumento de temperatura, mientras que el chiller enfriado por agua, el crecimiento es más atenuado para este cambio. Así mismo, para una misma temperatura, hay un menor consumo por tonelada de refrigeración, para el chiller enfriado por agua en análisis.

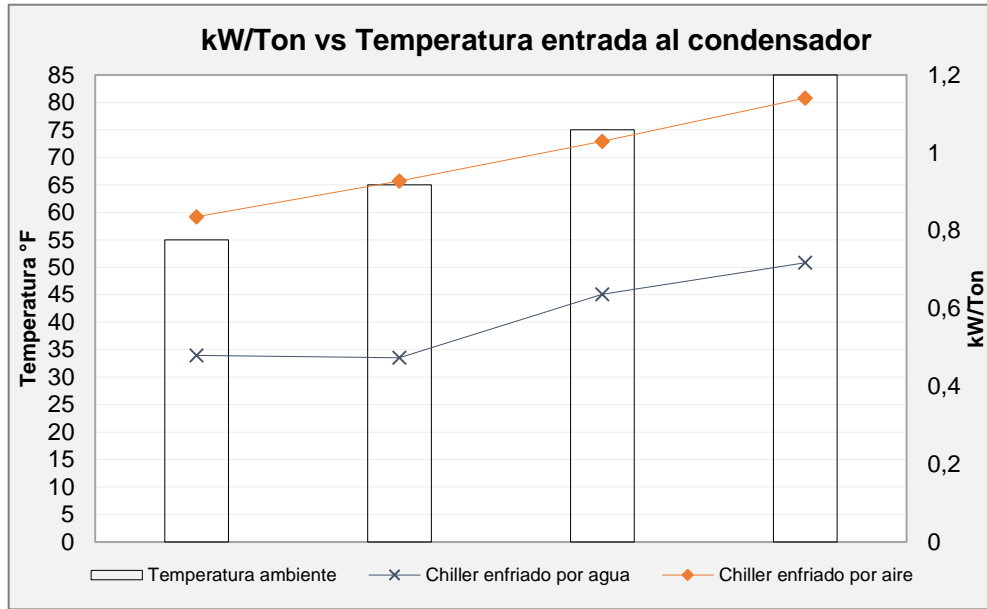


Gráfico 40. kW/Ton vs temperatura entrada al condensador.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel

De manera similar, al analizar el indicador SEER, se obtiene que el chiller enfriado por agua produce, una mayor cantidad de carga de enfriamiento por energía consumida, al obtener valores mayores que el chiller enfriado por aire.

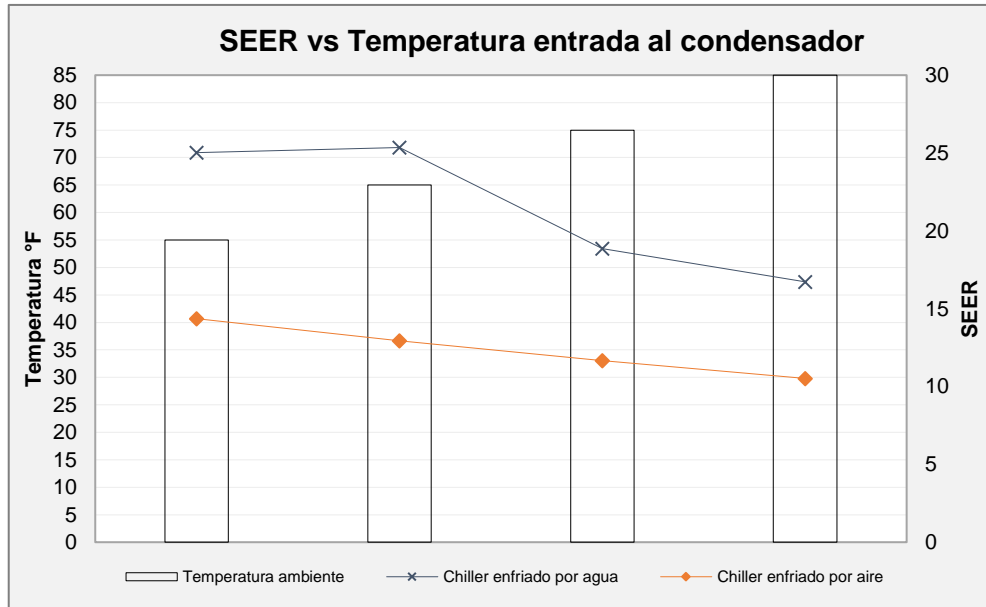


Gráfico 41. SEER vs Temperatura entrada al condensador.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel

Se puede afirmar con certeza que, en términos generales, el chiller enfriado por agua, tanto para el caso en estudio, como para otras condiciones, presente una mejor eficiencia respecto a un chiller enfriado por aire, sin embargo, hay que tener en cuenta los aspectos de temperatura ambiental y humedad relativa, pues son factores directos que afectan la eficiencia, tanto del *chiller*, como del sistema en general.

Ahora al analizar la eficiencia de todo el sistema, tanto actual como propuesto, contemplando todos los consumos por parte de bombas y torres de enfriamiento. Se pone en contraste el porcentaje de ahorro, respecto al indicador establecido kW/Ton. La Tabla 32 muestra este porcentaje.

Tabla 32. Ahorro porcentual en términos del indicador kW/Ton.

% Carga	kW/Ton		Ahorro
	Actual	Propuesta	
10%	1,77	1,24	30%
20%	1,45	0,91	38%
30%	1,35	0,79	41%
40%	1,29	0,74	43%
50%	1,26	0,72	43%
60%	1,24	0,76	39%
70%	1,23	0,83	32%
80%	1,22	0,85	30%
90%	1,21	0,85	30%
100%	1,20	0,83	31%

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que a partir de 80% de carga, los valores son muy similares, al considerar que el sistema propuesto trabajará en promedio al 80%, mientras que el sistema actual, trabaja al 100% (explicado en apartados anteriores) se estima un ahorro alrededor del 33% del respecto del indicador.

- **Ahorro energético**

Al contemplar la operación actual del sistema, se puede obtener una cuantificación estimada del ahorro de energía en la operación anual. Para esto hay que tener en

cuenta la tarifa aplicada y el costo de por kW y kWh del período en cobro. Se hace una comparación con la demanda máxima detectada y el consumo energético en la operación de los chillers, para un mes aleatorio, y se compara con el costo de operación por parte del sistema propuesto. Los períodos de operación abarcan todas las horas de los períodos Valle (9 horas) y Punta (5 horas).

Esta reducción desde el punto de vista energético no contempla costos por mantenimientos ni por operación.

Tabla 33. Ahorro en términos energéticos y financieros

Ahorro en demanda (kW)		Ahorro por mes (kW)	Ahorro en energía (kWh)		Ahorro por mes (kWh)	Ahorro anual (€)
Actual	Propuesta		Actual	Propuesta		
157,262	98,889	58,373	36500	14010	22490	€10.549.281,696

Fuente: Elaboración propia.

- **Aspecto ambiental**

El factor ambiental en cuestión es el refrigerante en uso por los *chillers*, al tomar en cuenta que las operaciones se realizan en 3 edificios con el mismo sistema de climatización, se da un total de 6 chillers operando con R-22, y de una manera poco eficiente. En contraste, el sistema propuesto entra en operación con R-134a, fluido refrigerante sin contenido de cloro (HFC) con una Potencia de Agotamiento de la capa de ozono igual a 0.

Por otro lado, al tener el dato de consumo energético ahorrado en un periodo anual, se puede hacer un estimado de las toneladas de CO₂ al año que se estaría dejando de liberar a la atmósfera, si eventualmente, la energía se produjera mediante fuentes no renovables. Este indicador tiene relevancia en la determinación de edificaciones eficientes.

El cálculo ambiental se describe en la Tabla 34, y se obtiene una reducción de 186 Toneladas métricas de CO₂ lo que es equivalente a 429 barriles de petróleo quemados al año, entre otras equivalencias.

Tabla 34. Estimación de reducción de emisiones de CO₂ para propuesta cambio de sistema de enfriamiento.

Cantidad de KWh ahorrados anualmente	269880	kWh/año
<u>Reporte de emisiones anuales</u>		
Emisiones relacionadas con electricidad	186	Toneladas métricas de CO ₂
<i>Emisiones equivalentes a:</i>		
<i>Barriles de petróleo quemados</i>	<i>429</i>	<i>Barriles/año</i>
<i>Autos en carretera</i>	<i>37</i>	<i>Autos/año</i>
<i>Galones de gas consumidos</i>	<i>20.887</i>	<i>Galones/año</i>
<i>Hectáreas de árboles cortados</i>	<i>40</i>	<i>Hectáreas/año</i>

Fuente: Adaptado de www.profitablegreensolutions.com

3.5.7.4 Alternativa Banco de hielo.

Según lo observado en el apartado 3.5.7.1 *Respuesta a la demanda*, al analizar el perfil de las divisiones más consumidores del edificio se observó que existe una ligera diferencia de alcanzar una demanda máxima entre los periodos punta y valle. Al eliminar los picos por el arranque de equipos de climatización, quedaría prestar cuidado a las demás horas por disminuir.

La aplicación de los edificios establece un horario programado, al no haber un proceso productivo, en términos industriales, se puede observar que la mitad de un día los chillers permanecen apagados. Al transponer dos días aleatorios de la demanda de los chillers, se observa lo que indica la gráfica.

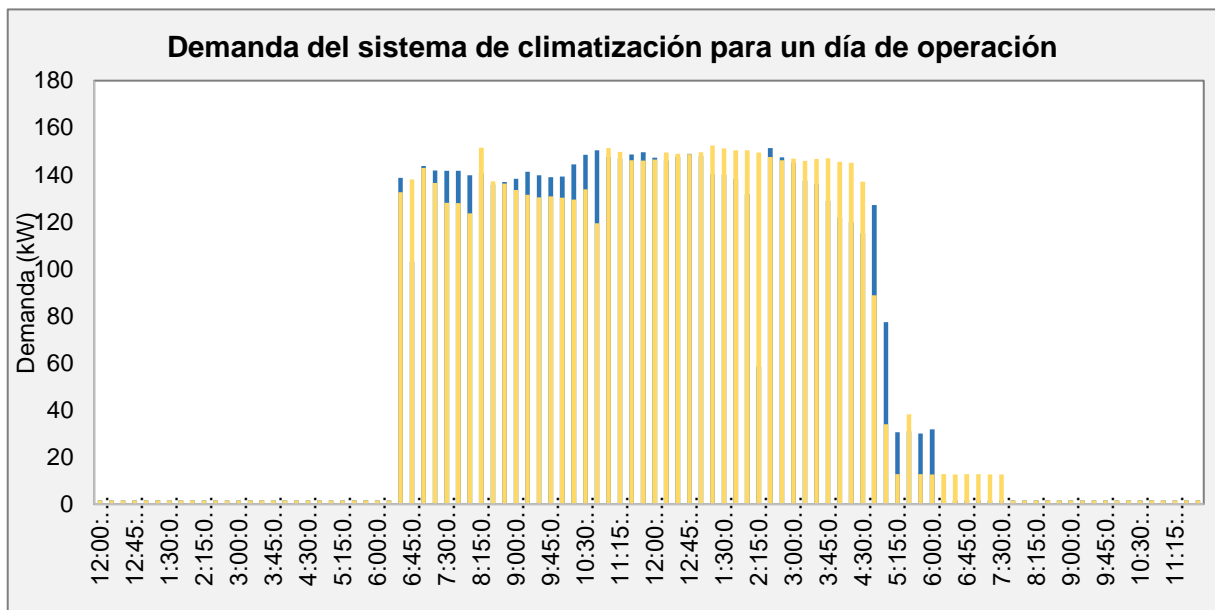


Gráfico 42. Demanda del sistema de climatización para un día de operación.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel.

Al saber el comportamiento de los chillers, para cualquier día de operación brinda la posibilidad de una propuesta de almacenaje térmico, conocido como Banco de hielo, donde uno de los factores de mayor relevancia es tener horas disponibles en un proceso de operación para el periodo de carga que, según fabricantes como BAC, sugieren una recomendación mínima de 10 horas de carga. Esto debido a que un

menor tiempo de carga, la temperatura del refrigerante en el evaporador debe ser menor, lo que conlleva un mayor costo energético para generar el hielo. Este requerimiento se puede cumplir sin complicaciones, al cumplir un horario programado.

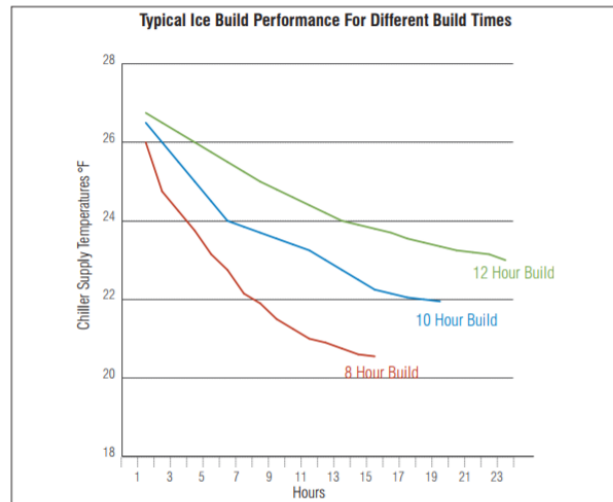


Figura 18. Temperatura de suministro necesaria para generar hielo según horas de carga.

Fuente: *Product & Application Handbook 2012, Ice Thermal Storage BAC.*

Entonces el principio de funcionamiento establece que el Banco de hielo entre en proceso de carga durante las noches, para aprovechar el descenso de la temperatura ambiente, que facilita la condensación del refrigerante, por lo que se requiere menor energía que durante el día. Además, el coste energético del kWh es mucho menor para un período nocturno. Ahora, el modo de operación en el día está establecido según la configuración requerida, para este caso, podría tratarse de un sistema parcial de enfriamiento, donde el chiller se limita a un porcentaje de carga, este será establecido como la base para el Banco de hielo, que empezará el proceso de descarga para suplir la carga necesaria por el proceso

Ahora, para evaluar la operación de un Banco de hielo es necesario tener conocimiento de la carga térmica necesaria en todo el período de operación, para esto se necesita comparar los requerimientos de potencia consumida por los *chillers*, para así obtener

la carga térmica requerida instantánea en kW (según potencia consumida en ese instante), esto se pudo realizar según lo establecido en el apartado anterior. La Tabla 35 muestra un resumen del cálculo mencionado.

Tabla 35. Carga térmica requerida para un día de operación.

Horas	Consumido kW	Carga térmica (TR)	Carga térmica (kW)
5:30:00 a. m.	1,59	1,32	4,65
5:45:00 a. m.	1,58	1,32	4,65
6:00:00 a. m.	1,58	1,32	4,63
6:15:00 a. m.	1,56	1,30	4,57
6:30:00 a. m.	132,58	110,52	388,69
6:45:00 a. m.	137,98	115,03	404,54
7:00:00 a. m.	142,85	119,08	418,80
7:15:00 a. m.	136,50	113,80	400,22
7:30:00 a. m.	128,04	106,75	375,41
7:45:00 a. m.	127,97	106,68	375,17
8:00:00 a. m.	123,59	103,03	362,34
8:15:00 a. m.	151,53	126,31	444,21
8:30:00 a. m.	137,15	114,34	402,11
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
5:15:00 a. m.	1,59	1,32	4,66

Fuente: Elaboración propia.

Estos datos buscan brindar una aproximación del desarrollo de la carga térmica requerida para un día de operación. La gráfica, muestra este comportamiento para un día completo.

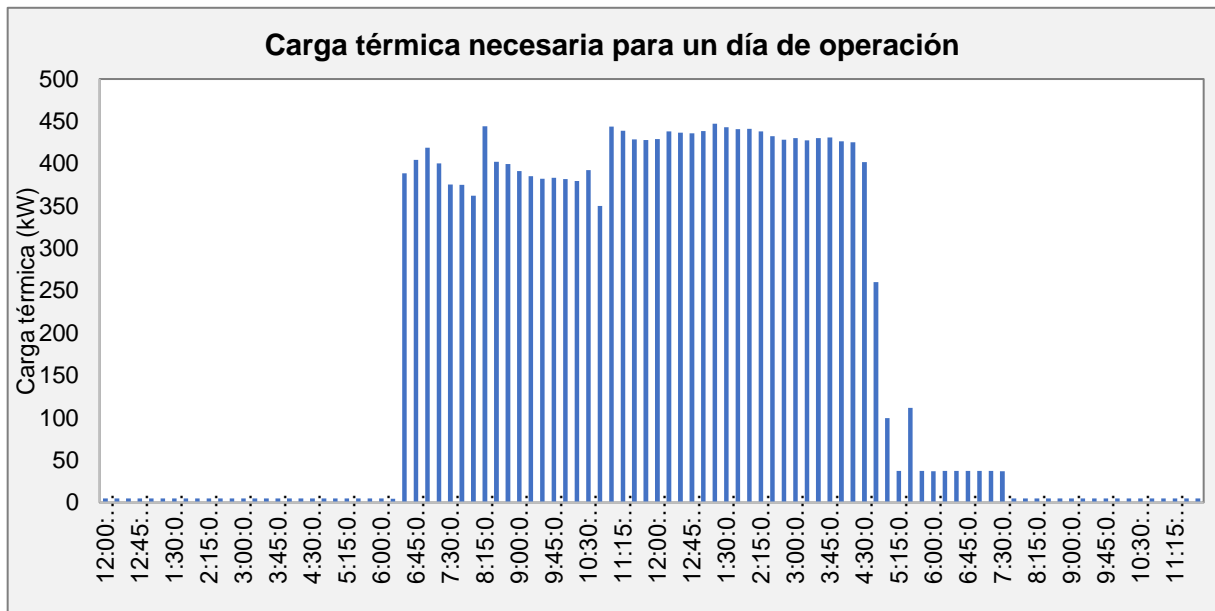


Gráfico 43. Carga térmica necesaria en un día de operación del edificio B.

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel.

Ahora, al hacer una integración de estos requerimientos de carga térmica para cada hora del día, se muestra lo que indica la tabla.

Tabla 36. Carga térmica por período horario.

Periodo horario	Carga térmica TR	Carga térmica kW
0	1,34	4,70
1	1,33	4,68
2	1,34	4,70
3	1,34	4,70
4	1,33	4,69
5	1,32	4,66
6	86,48	304,15
7	111,58	392,40
8	114,32	402,04
9	109,64	385,60
10	106,89	375,90
11	123,65	434,85
12	123,69	435,01
13	125,79	442,37

14	123,72	435,11
15	122,21	429,78
16	107,63	378,51
17	20,33	71,51
18	10,57	37,18
19	8,27	29,07
20	1,33	4,68
21	1,33	4,69
22	1,34	4,70
23	1,33	4,68
Total	1308,09	4600,38

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 36 muestra que la carga térmica en un día corresponde a 4600 kW (1310 TR). Esto se distribuirá de manera tal que, al definir una base para el banco de hielo, por ejemplo, 250kW, este solo entre en operación cuando la carga térmica requerida ha superado este valor.

3.6 Diagnóstico energético al sistema de iluminación

Las condiciones de iluminación de un recinto deben estar asociadas a la actividad realizada, se tiene una amplia serie de aspectos a considerar, para alcanzar los beneficios que brinda una buena iluminación, desde el punto de vista ergonómico y de confort visual. Ahora, una buena iluminación desde el punto de vista energético resulta en beneficios en dirección a un ahorro permanente.

Con un diagnóstico ingenieril a este sistema, como parte del proceso metodológico establecido en el apartado 3.3 propuesto por el realizador del proyecto, se brinda un análisis comparativo basado en una propuesta de cambio de luminarias y control de iluminación, como recurso se tiene una hoja electrónica programada para brindar tablas y datos graficados, en un análisis comparativo que contempla, consumos energéticos, costo de operación, indicadores de eficiencia, impacto ambiental y retorno de la inversión (Ver Apéndice 12). Estos resultados se obtienen al ingresar información de las luminarias, los recintos, las horas de operación, entre otros datos, de esta manera se permite la realización de informes o propuestas de ahorro energético para proyectos a realizar en todo tipo de edificaciones. Y al involucrarse un sistema de control de iluminación; estrategias de aprovechamiento de la luz natural y sensores de ocupación, se logra complementar la eficiencia energética desde un punto de vista pasivo y activo, para lograr el objetivo en común: Ahorro Energético.

3.6.1 Propuesta genérica de análisis.

Para un proyecto en iluminación hay puntos claves por considerar, como parte de un estudio energético, por esto se desarrolla una metodología genérica a seguir para analizar una propuesta de cambio de luminarias y control de iluminación

De manera previa es necesario conocer las instalaciones, su orientación cardinal, la actividad realizada, los horarios y períodos de ausencia. Detalladamente, se puede enlistar los siguientes procesos:

1. Descripción de la situación actual:

Se debe detallar el escenario actual desde el punto de vista de necesidades del cliente, así como el estado de la iluminación en general (tecnología de luminaria, horas de operación, calidad de instalaciones).

2. Definir las áreas de análisis:

Se requiere delimitar las zonas para facilitar el análisis de consumo energético, para esto se hace una partición de las áreas, de tal manera que se agrupen por zonas según el tipo de actividad, pues por este factor se identificará las necesidades de iluminación del local.

3. Revisión de normativa:

Es necesario corroborar en la normativa los valores luminotécnicos que se tienen que superar o restringir. Un valor determinante es el nivel luminoso (lux) definido como la cantidad de flujo luminoso por unidad de área, y depende de la actividad realizada en el recinto. Algunos referentes para revisión de estos valores son: ASHRAE 90.1-2010 para eficiencia energética.

NOM-007-ENER-2004: Eficiencia energética en edificios no residenciales.

4. Datos técnicos de luminarias instaladas:

Paso fundamental es conocer el consumo de las luminarias actuales para un análisis comparativo con la propuesta. El cliente debe suministrar la ficha técnica o modelo de las luminarias instaladas.

5. Selección de luminarias propuestas:

Para definir la luminaria por instalar, por menor consumo y mayor vida útil se propone emplear tecnología LED, para ello se buscará ver el tipo de lámpara que cuente con mejor distribución, con una eficiencia luminosa mayor (Lm/Watt). Esta selección también puede ser definida por el cliente, en este caso solicitar fichas técnicas.

6. Determinar distribución de luminarias:

La distribución de las luminarias por recinto puede determinarse por diferentes métodos: lúmenes, cavidades zonales, o puede hacerse una distribución por

simulación en software, para este caso puede emplearse DIALux, cuya licencia gratuita permite estos análisis.

7. Niveles de luz natural:

Como parte del control de iluminación se hace un aprovechamiento de la cantidad de luz natural que entra al recinto, para manejar estos niveles, se puede hacer mediciones en puntos estratégicos mediante un luxómetro, o se puede hacer una simulación por DIALux, al hacer un renderizado del recinto y establecer escenas de luz, se puede obtener la cantidad de lux en múltiples puntos de análisis para distintas escenas de luz (cielo despejado, cubierto, medio).

8. Evaluación energética:

Se realiza un análisis comparativo de la energía consumida por el sistema actual y la propuesta, así como la reducción en potencia instalada que incide en la disminución de demanda máxima, todo esto cuantificado en un período anual, para visualizar ahorros y estimar un retorno de inversión. Es necesario conocer el tipo de tarifa y los costos en energía y demanda.

9. Desarrollo de la solución ingenieril:

Se desarrolla la programación del control de iluminación, aplicando estrategias de aprovechamiento de luz natural y según ocupación de los recintos. El ahorro se estima entre un 40 a 60% de la energía consumida por aplicar estas acciones activas.

10. Análisis ambiental:

Se considera la reducción de emisiones de CO₂ por los kWh ahorrados al año, indicador universal para la clasificación de edificaciones energéticamente eficientes.

11. Análisis financiero:

Se estima el retorno de la inversión mediante el análisis por el Valor Actual Neto (VAN) tomando en cuenta el costo de las luminarias.

3.6.2 Estrategias de control de iluminación.

Algunas técnicas activas que involucran la automatización para un sistema de iluminación han sido estudiadas con el fin de obtener resultados porcentuales concretos que puedan determinar o contabilizar con una certera aproximación, la cantidad de energía (kWh) ahorrados en un período de tiempo, así como la reducción de cargas simultáneas, suavizando picos de potencia (kW).

Tales investigaciones han sido desarrolladas en muestras de análisis específicas; edificios comerciales, de oficinas y centros educativos.

3.6.2.1 *Atenuación para aprovechamiento de luz natural.*

La incidencia de luz solar sobre los cristales de una edificación provoca una cantidad considerable en el nivel de luminosidad, que puede ser aprovechable para reducir el flujo luminoso que emite un grupo de luminarias, que a su vez reduce la potencia consumida, y en consecuencia alcanzar una disminución de la energía consumida (kWh) a lo largo de una jornada de operación.

Esto dependerá de diversos factores para lograr un estimado en un intervalo porcentual respecto a una línea base de consumo, que puede ser en sistemas no automatizados. Se han realizado investigaciones para lograr estimar estos datos, mediante trabajos de campo aplicado a edificios de oficinas, comerciales y centros educativos.

Según Reinhart (2002) determinan que el ahorro basado en la comparación de un sistema automatizado de luz diurna para atenuación de luces a un sistema controlado solo por apagado manual. Se observó un ahorro máximo del 60% en energía para lugares con alta transmitancia de ventana y para áreas de trabajo adyacentes a una ventana. Ahorros del 25% se obtuvieron para una segunda fila de ventanas con menor transmitancia visible. Los ahorros reales pueden variar según la transmisión de la ventana, las características de la habitación y el uso de los ocupantes, entre otros factores.

La investigación por Newsham & Birt (2010) establece la atenuación de la iluminación como un mecanismo de control para reducir el consumo de electricidad durante periodos de gran demanda en toda la red. Los resultados de un trabajo de campo

realizado en oficinas durante meses de verano con 330 luminarias regulables. Se realizó dos pruebas de respuesta a la demanda por la tarde, que redujeron las luces hasta en un 35% en 15-30 minutos. La reducción de potencia lograda fue de 5.2 kW (23%) y 5.3 kW (24%). Se obtuvieron resultados similares para un campus universitario. Por lo que los autores establecen que al atenuar un grupo de luminarias hasta en un 40%, se obtienen reducciones de carga de iluminación alrededor del 25%, en todo el sitio. No hubo quejas relacionadas con la iluminación, debido a esto, el autor establece que se puede hacer atenuaciones del 20% en menos de un minuto, una atenuación del 50% puede realizarse en un período de 30 minutos, y en condiciones de aprovechamiento de un cielo despejado, se puede atenuar un 80% sin afectar a la mayoría de los ocupantes.

3.6.2.2 Sensores de presencia vacancia

Ahorro basado en agregar sensores de ocupación al apagado manual. Según VonNieda, et al (2000) Se han encontrado ahorros de energía entre un 20 a 60%, ahorros indicados se basan en ahorros promedio encontrados para diferentes tipos de habitaciones en diferentes períodos de tiempo de espera. Sin embargo, los ahorros pueden variar dependiendo de los períodos de tiempo de espera utilizados y el uso previo de los ocupantes, entre otros factores. El fabricante Lutron establece un ahorro del 15% para este tipo de estrategia.

3.6.2.3 Recorte de la capacidad máxima.

Se puede aplicar un recorte al consumo de la potencia nominal consumida por la luminaria, provocando una disminución del flujo luminoso, esto para períodos donde apenas se requiera una iluminación suficiente donde un sensor de presencia no logre optimizar debido al alto tránsito de ocupantes, así mismo, en períodos donde se realice otras actividades que no necesiten un nivel de luminosidad elevado para el que fue diseñada la instalación. Williams et al., (2012) demostró que se puede obtener un ahorro cercano al 36% en espacios de oficinas basado en una comparación de un

sistema de recorte de potencia de la luminaria con luminarias con un consumo nominal, este resultado puede ser afectado por varios factores.

3.6.3 Caso en estudio.

Se puso en análisis el sistema de iluminación del edificio B, en pro de buscar propuestas de mejora según lo especificado en el capítulo anterior.

Se logra observar que, se ha realizado un reciente cambio de luminarias de fluorescentes a tecnología LED (luminaria atenuable), en un 95% de la totalidad del edificio, cumpliendo así el parámetro de eficiencia pasiva. Se analiza la densidad de potencia instalada para iluminación, y la comparación mediante el indicador establecido en la normativa ASHRAE 90.1 para eficiencia energética que limita la cantidad de potencia instalada por área.

Las salas abiertas o de cubículos, cuentan con sensores de presencia/vacancia, sin embargo, al ser zonas muy transitadas por los ocupantes, así como un amplio horario de almuerzo, implica que el sensor esté detectando movimiento en la totalidad de la jornada laboral, y cuando esta llega a su fin, alrededor de las 4:00-5:00pm la cantidad de ocupantes disminuye, sin embargo, hay trabajadores en algunas salas, cumpliendo horas extras, así mismo, el personal de limpieza, mantenimiento o contratistas operan después de la jornada laboral, provocando que las horas de operación de las luminarias, al menos en las salas abiertas o de cubículos sean extendidas y que la reducción del factor de demanda por los sensores de presencia sea bajo.

Otro aspecto por considerar son las características arquitectónicas del edificio, y son las amplias ventanas con las que se cuentan, las cuales permiten el paso de luz natural, controlado por persianas manuales, en la mayoría de las salas abiertas, y algunas salas de reuniones, siendo las primeras las de mayor área y cantidad de luminarias. Este factor es considerable para un aprovechamiento de luz natural que aún no se ha realizado. Para esto, se han realizado simulaciones en DIALux con el objetivo de cuantificar el nivel de luminosidad (Lux) que llega a las salas abiertas, sin tomar en cuenta el nivel de luminosidad proporcionado por las luminarias instaladas.

3.6.3.1 Potencia instalada

Al analizar la densidad de potencia instalada por iluminación (*Lighting Power Density*) establecido por ASHRAE 90.1-2010, indica un valor máximo de 1.

Tabla 37. Densidad de potencia instalada en los pisos del edificio B.

Piso	Potencia instalada (kW)	Área (ft ²)	LPD (W/ft ²)	LPD (W/ft ²) ASHRAE 90.1-2010
B1	8,04	9796	0,82	1
B2	8,254	11143	0,74	1
B3	8,08	11200	0,72	1
B4	7,79	10551	0,74	1

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel

3.6.3.2 Luz natural en las salas de cubículos.

Se realiza simulaciones para una estimación del nivel de luminosidad aprovechable en las salas abiertas o también denominadas de cubículos, donde se mantiene la ocupación al 100% durante la jornada laboral.

Para poder llevar a cabo el cálculo de la simulación, es necesario especificar características, como es la delimitación del área de la sala, el dimensionamiento real de las ventanas; sus características de transmisión y refracción por algún tipo de polarizado o aislamiento, también es necesario describir el tipo de cielo para la escena de luz y la hora de incidencia, entre otras. De esta manera y dadas las condiciones constructivas reales, se establecen las siguientes condiciones:

- Protección solar I (Grado de, reflexión:12,6%, transmisión: 68,2%, índice de refracción: 1,5)
- Cielo despejado (con luz indirecta)
- A las 11:00 am.
- Plano de trabajo: 0,8 (oficinas).
- Área indicada por el plano arquitectónico.

Al establecer estos parámetros, se puede hacer una estimación que justifique un aprovechamiento de la cantidad de luxes para el plano de trabajo establecido, tomando en cuenta una cantidad aceptable de lux: 300 Lx, para la aplicación del recinto. Los pisos B2 y B3 al presentar gran similitud se contemplará solamente el 2. Los cálculos del ahorro estimado se presentarán en el siguiente apartado.

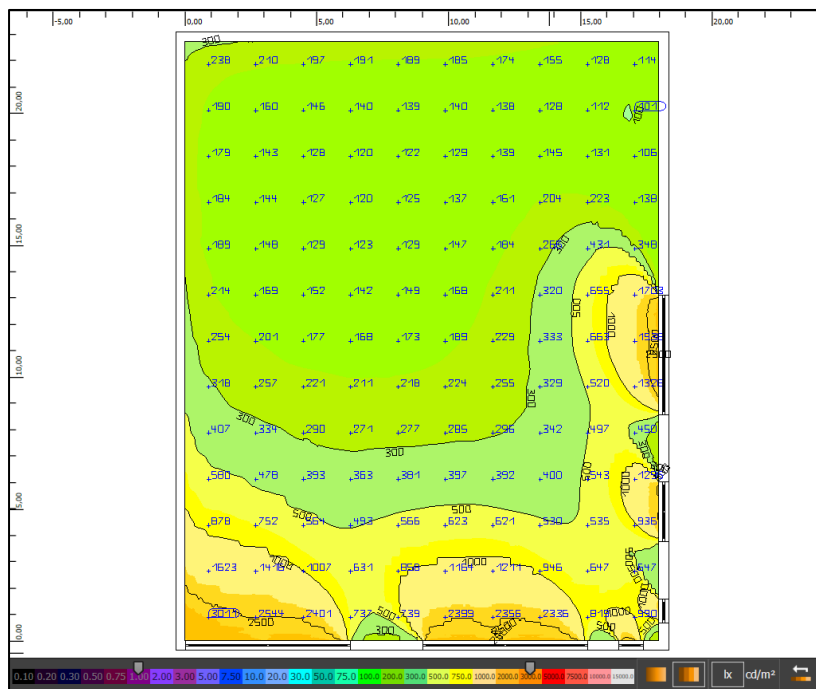


Figura 19. Nivel de luminosidad (Lux) en el plano de trabajo del piso 1.

Fuente: Elaboración propia. DIALux evo 7

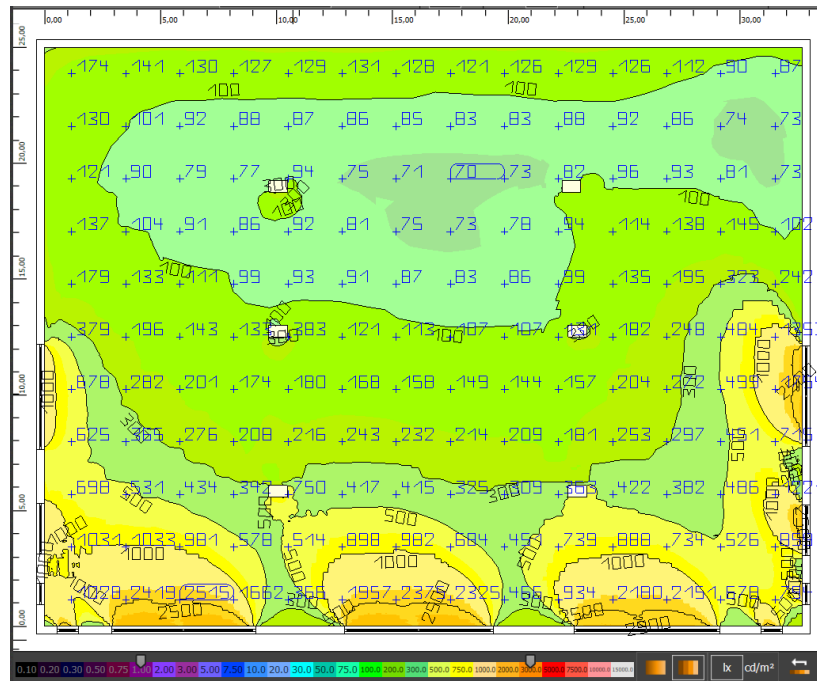


Figura 20. Nivel de luminosidad (Lux) en el plano de trabajo del piso 2 y 3.

Fuente: Elaboración propia. DIALux evo 7

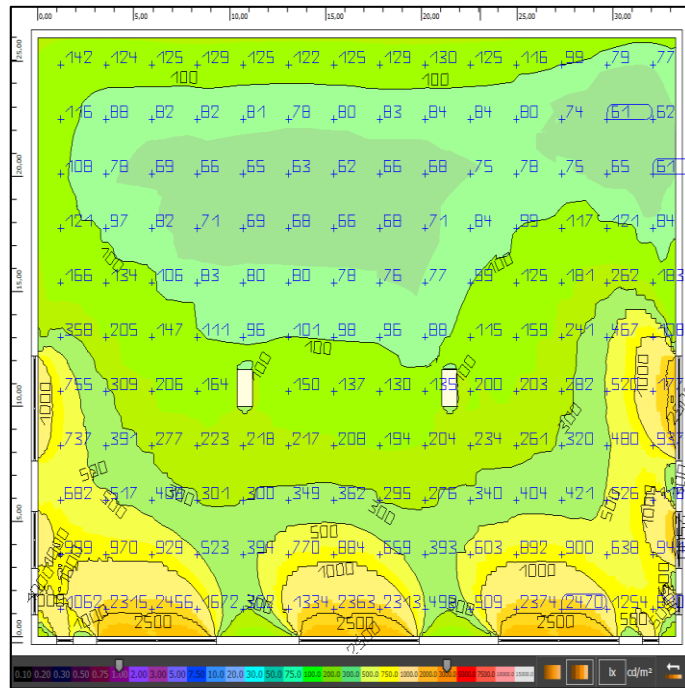


Figura 21. Nivel de luminosidad (Lux) en el plano de trabajo del piso 4.

Fuente: Elaboración propia. DIALux evo 7



Figura 22. Renderización de las salas de cubículos (sin luminarias).

Fuente: Elaboración propia. DIALux evo 7

Para esta condición estándar se obtienen los resultados apreciables en las figuras anteriores, hay que tomar en cuenta que esta condición se decidió no contemplar una condición de luz directa, debido a que estas condiciones serán en cierto momento del día, aun así, se logra apreciar una gran cantidad de lux provenientes de la luz natural que abarca gran parte de las salas de cubículos. Al considerarse otras horas del día se logra apreciar un comportamiento similar, hay que tomar en cuenta que este valor disminuye cuando se trata otros tipos de cielo, ya sea nublado o medio, sin embargo, al considerar una incidencia de luz directa en ciertas horas, puede verse un aumento considerable.

Al realizar un control de la atenuación de luminarias para mantener el nivel cercano a los 300 lx, generaría una disminución de la potencia consumida por las luminarias, en mayor magnitud para las que se encuentran cerca de las ventanas. La siguiente tabla muestra un resumen de los niveles obtenidos.

Tabla 38. Resultados obtenidos de la simulación.

Piso 1	Pisos 2 y 3	Piso 4																																																						
<p>Plano útil 1</p> <p>501 lx 0.20</p> <p>Plano útil (Intensidad lumínica perpendicular)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Real</th> <th>Nominal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>501 lx</td> <td>≥ 500 lx</td> </tr> <tr> <td>Min</td> <td>99.5 lx</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Max</td> <td>3944 lx</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Mín./medio</td> <td>0.20</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Mín./máx.</td> <td>0.03</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> <p>Parámetros</p> <p>Altura 0.80 m</p>		Real	Nominal	Media	501 lx	≥ 500 lx	Min	99.5 lx	-	Max	3944 lx	-	Mín./medio	0.20	-	Mín./máx.	0.03	-	<p>Plano útil 1</p> <p>408 lx 0.17</p> <p>Plano útil (Intensidad lumínica perpendicular)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Real</th> <th>Nominal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>408 lx</td> <td>≥ 500 lx</td> </tr> <tr> <td>Min</td> <td>68.3 lx</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Max</td> <td>3832 lx</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Mín./medio</td> <td>0.17</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Mín./máx.</td> <td>0.02</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> <p>Parámetros</p> <p>Altura 0.80 m</p>		Real	Nominal	Media	408 lx	≥ 500 lx	Min	68.3 lx	-	Max	3832 lx	-	Mín./medio	0.17	-	Mín./máx.	0.02	-	<p>Plano útil 1</p> <p>397 lx 0.15</p> <p>Plano útil (Intensidad lumínica perpendicular)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Real</th> <th>Nominal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>397 lx</td> <td>≥ 500 lx</td> </tr> <tr> <td>Min</td> <td>57.6 lx</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Max</td> <td>3812 lx</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Mín./medio</td> <td>0.15</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Mín./máx.</td> <td>0.02</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> <p>Parámetros</p> <p>Altura 0.80 m</p>		Real	Nominal	Media	397 lx	≥ 500 lx	Min	57.6 lx	-	Max	3812 lx	-	Mín./medio	0.15	-	Mín./máx.	0.02	-
	Real	Nominal																																																						
Media	501 lx	≥ 500 lx																																																						
Min	99.5 lx	-																																																						
Max	3944 lx	-																																																						
Mín./medio	0.20	-																																																						
Mín./máx.	0.03	-																																																						
	Real	Nominal																																																						
Media	408 lx	≥ 500 lx																																																						
Min	68.3 lx	-																																																						
Max	3832 lx	-																																																						
Mín./medio	0.17	-																																																						
Mín./máx.	0.02	-																																																						
	Real	Nominal																																																						
Media	397 lx	≥ 500 lx																																																						
Min	57.6 lx	-																																																						
Max	3812 lx	-																																																						
Mín./medio	0.15	-																																																						
Mín./máx.	0.02	-																																																						

Fuente: DIALux evo 7.

3.6.3.3 Análisis de aprovechamiento de luz natural.

Dadas las condiciones de luz natural que inciden en las salas abiertas, se puede hacer un estimado útil del ahorro obtenido, mediante la estrategia de atenuación de luminarias. Para esto, se toma en cuenta los resultados de las investigaciones realizadas en campo, comentadas en el apartado 3.6.2, pues los resultados son aplicables en este tipo de edificios.

Para lograr determinar valores concretos, se establecen algunos criterios:

- Se toma en cuenta las luminarias de algunas salas de reuniones
- Debido a la alta ocupación (100%) en las salas de cubículos, y la fluctuante ocupación de las salas de reuniones contempladas se estima un factor de demanda combinado en 85% del consumo de las luminarias para las horas de operación.¹
- Se estima una reducción del 25% de la potencia demandada por las luminarias.²
- Se establece en un 30% la reducción del consumo de energía debido a la atenuación de luminarias y en 10% debido al recorte de potencia nominal³

Tabla 39. Consumos actuales de las luminarias instaladas.

Tipo de luminaria	Potencia (W)	Cantidad	Horas de operación anuales	Potencia instalada (KW)	Factor demanda	Energía al año (KWh)
Luminaria 3 tubos	57	393,00	3840	22,401	0,85	73116,864
Spot	6	76	3840	0,456	0,85	1488,384
TOTAL						74605,248

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel.

Tabla 40. Consumos actuales por recintos en análisis.

Local	Luminaria 3 tubos		Spot		Potencia instalada por local (KW)	Factor demanda	Energía al año (KWh)
	Cantidad	Potencia instalada (KW)	Cantidad	Potencia instalada (KW)			
Salas piso 1	67,00	3,82	11,00	0,07	3,89	0,85	12681
Salas piso 2	111,00	6,33	24,00	0,14	6,47	0,85	21121
Salas piso 3	109,00	6,21	20,00	0,12	6,33	0,85	20671
Salas piso 4	106,00	6,04	21,00	0,13	6,17	0,85	20132
TOTAL							74605

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel.

¹ Inspección visual en sitio durante la estadía en las instalaciones.

² Newsham GR & Birt B. 2010. Demand-responsive lighting: a field study. Leukos. 6(3) pg 203-225.

³ Reinhart CF. 2002. Effects of interior design on the daylight availability in open plan offices.

Tabla 41. Ahorro total por piso al aplicar la estrategia de control.

Local	Demanda por local (KW)		Ahorro por demanda (kW/año)	Consumo de energía (KWh/año)		Ahorro (KWh/año)	Ahorro por energía (€/año)	Ahorro por demanda(€/año)	Ahorro total (€/año)
	Actual	Propuesta		Actual	Propuesta				
Salas piso 1	3,3	2,5	9,9	12680,6	6974,4	5706,3	€195.512	€71.673	€267.184
Salas piso 2	5,5	4,1	16,5	21121,3	11616,7	9504,6	€325.652	€119.381	€445.032
Salas piso 3	5,4	4,0	16,1	20670,9	11369,0	9301,9	€318.707	€116.835	€435.541
Salas piso 4	5,2	3,9	15,7	20132,4	11072,8	9059,6	€310.403	€113.791	€424.194
TOTAL									€1.571.951

Fuente: Elaboración propia. Ms Excel.

3.6.3.4 Reducción de emisiones de CO₂

Se tiene una cantidad de 33 571 KWh/año ahorrados, lo cual, si eventualmente, la energía se produjera mediante fuentes no renovables, como los combustibles fósiles, se estaría dejando de liberar a la atmósfera 21 toneladas de CO₂ al año. Y sus emisiones equivalentes, descrito en la siguiente tabla.

Tabla 42. Estimación de reducción de emisiones de CO₂ para propuesta en sistema de iluminación.

Cantidad de KWh ahorrados al año	22856	kWh/año
<u>Reporte de emisiones anuales</u>		
Emisiones relacionadas con electricidad	16	Toneladas métricas de CO ₂
<i>Emisiones equivalentes a:</i>		
<i>Barriles de petróleo quemados</i>	36	<i>Barriles/año</i>
<i>Autos en carretera</i>	3	<i>Autos/año</i>
<i>Galones de gas consumidos</i>	1.769	<i>Galones/año</i>
<i>Hectáreas de árboles cortados</i>	3	<i>Hectáreas/año</i>

Fuente: Adaptado de www.profitablegreensolutions.com

3.7 Resumen de las propuestas de conservación de energía.

Los resultados obtenidos del estudio energético realizado al edificio B de P&G, se pueden resumir según las áreas de análisis ejecutadas: Revisión energética inicial, Diagnóstico energético del sistema de climatización y diagnóstico energético del sistema de iluminación.

Para este caso en estudio, en la revisión energética inicial se obtuvo un histórico de consumo de seis meses, con algunas tendencias similares para algunas divisiones, con lo que se hizo una proyección anual para obtener indicadores respecto al consumo total del edificio que se detallarán en la siguiente sección. Además, con esta revisión se logra inferir cuáles merecen un análisis más detallado para conocer algunas oportunidades de conservación de la energía.

En el caso en estudio, y por alcances del proyecto, se obtuvo el sistema de climatización artificial y la energía consumida por los pisos en ocupación, como los consumidores significativos.

2.14.1 Propuestas de la revisión energética inicial:

De la revisión inicial se aprecia que los arranques de las unidades fan coil, no se da de manera secuencial, en el 90% de las máquinas, provocando un aumento en demanda cerca de las 7:00 am, que afecta esta curva por la generación de un eventual pico máximo, para esto se propone un arranque secuencial, especificado en el apartado 3.5.7.1, y se logra alcanzar una reducción del 20% respecto al pico generado solo por el consumo nominal del arranque, que podría aumentar debido a una eventual detección de una corriente de arranque por parte del medidor de energía.

2.14.2 Propuestas al sistema de climatización artificial:

Al finalizar el diagnóstico del sistema de climatización, se puede especificar los puntos clave donde es posible proponer mejoras para una conservación energética,

- Carga térmica:

Según resultados obtenidos (Ver Apéndice 8 y sección 2.8.2), desde el punto de vista constructivo, se tiene un correcto diseño que se ve reflejado en las ganancias de calor a través de la estructura exterior, un buen aislamiento y espesores de pared y techo, provocan un gran efecto de retraso del calor por la conducción térmica, gracias a su gran capacidad de almacenamiento de calor.

En general los puntos referentes a ganancias de calor por radiación y conducción por estructura exterior se encuentran en magnitudes bajas y controladas.

Por otro lado, la ganancia por iluminación sugiere una atención especial, pues según los resultados, esta ganancia representa cerca del 45% de la carga térmica en cada uno de los pisos, incluso al considerar factores debido sistema actual de operación (LED y sensores de presencia), la densidad de potencia en iluminación podría ser controlable para alcanzar una reducción de este parámetro, más adelante se presentarán algunas propuestas referentes a este sistema.

- Comparación energética en los recintos:

Para mantener los niveles óptimos de diseño, se considera oportuno realizar un balance de aire, tomando en cuenta las magnitudes especificadas en el Apéndice 13, obtenido de un análisis psicrométrico, esto para mantener las condiciones de diseño, así como la identificación de equipos con menor rendimiento. El resultado es un óptimo funcionamiento de las unidades terminales, resultados dirigidos hacia el confort de los ocupantes.

- Plantas enfriadoras de agua:

El estudio pone en análisis el ciclo de refrigeración con R-22, refrigerante que por motivos ecológicos debe ser sustituido. Así mismo se analiza el sistema actual de funcionamiento: condensadores enfriadores por aire. Y se proponen alternativas direccionadas a un cambio de sistema de enfriamiento (enfriado por agua). Esta propuesta desde un punto de vista económico genera un ahorro anual neto cercano a los \$9.549.000 (tomando en cuenta costos de operación y mantenimiento), consecuencia de una operación más eficiente del sistema, donde la cantidad de kW

es más aprovechable en la producción de toneladas de refrigeración. Así mismo se obtiene una reducción del 100% en el índice de Potencial de Agotamiento de la capa de ozono (PAO) donde se pasa de un factor de 0,11 a un 0, una reducción del 100%, mientras se consigue una reducción de 186 TonCO₂ anuales, si la energía hubiese sido generada por fuentes no renovables, este indicador es referente a nivel mundial para la eficiencia energética, que bajo políticas ambientales rigurosas de la organización puede ser valorado.

Tabla 43. Parámetros reducidos al aplicar la propuesta de climatización.

Parámetro	Reducción
Ahorro (C\$/año)	C\$10.549.000
PAO	100%
Eficiencia (kW/Ton)	33%
Energía (kWh)	269880
Reducción de emisiones de CO ₂	186 TonCO ₂ /año

Fuente: Elaboración propia.

- Escenario Banco de hielo:

Se propone realizar un análisis de factibilidad para la propuesta de banco de hielo, debido a los altos costos de inversión. Se brinda la información requerida para una posible selección de equipos.

2.14.3 Propuestas al sistema de iluminación.

La iluminación de los pisos presenta un estado eficiente desde el punto de vista pasivo, por lo que la densidad de potencia en iluminación (conocida por sus cifras en inglés como *LPD*) está 25% por debajo de los valores máximos permitidos (ASHRAE 90.1-2010) por lo que las mejoras aplicables se dirigen hacia un control activo de luminarias, al presentar características atenuables. Se propone un aprovechamiento de luz natural y un recorte de la capacidad máxima en periodos de baja afluencia (horas de almuerzo) sin afectar el confort visual del usuario (ver apartado 3.6.2).

Tabla 44. Parámetros reducidos al aplicar la propuesta de iluminación.

Parámetro	Reducción
Ahorro (¢/año)	¢1.571.951
Demanda (kW)	25% ¹
Energía (kWh/año)	22856
Reducción de emisiones de CO ₂	16 TonCO ₂ /año

¹De la potencia instalada en luminarias.

Fuente: Elaboración propia.

3.8 Indicadores

El análisis y caracterización energética de cada proceso dentro de un edificio, permite definir indicadores propios enfocados a la eficiencia energética. Estos indicadores sirven como base de comparación y monitoreo para controlar y reducir las pérdidas energéticas de las distintas actividades y evaluar los potenciales de reducción de dichas pérdidas, debidas principalmente a la tecnología empleada y hábitos de consumo (Pérez & Vera, 2011).

A partir de los resultados obtenidos, se presentan indicadores para la gestión energética, establecido por niveles.

Nivel 1: Indicadores para pisos

El primer grupo de indicadores busca monitorear el consumo específico de los diferentes pisos de la instalación. Se toma en cuenta lo siguiente:

- Aspecto medido: consumo de energía eléctrica y potencia instalada de los pisos, relacionado con el área (kWh/mes-m² y W/m²)

Tabla 45. Indicadores de gestión energética, nivel 1.

Nivel 1				
Indicador	Zona	Unidad	Valor actual	Fuente de información
Índice de consumo energético por piso	Piso 1	kWh/mes-m ²	2,44	Revisión energética inicial: Sistema de monitoreo, dimensiones a partir de planos arquitectónicos.
	Piso 2		1,43	
	Piso 3		0,43	
	Piso 4		0,44	
Índice de potencia instalada por piso	Piso 1	W/m ²	7,74	Inventario de equipos y planos arquitectónicos.
	Piso 2		6,21	
	Piso 3		6,06	
	Piso 4		7,63	

Fuente: Elaboración propia.

Nivel 2: Indicadores para equipos/sistemas principales

Para este nivel, se busca monitorear el consumo específico de los diferentes sistemas dentro de la instalación junto a la potencia instalada. Las características de este tipo de indicadores se describen a continuación:

- Elemento evaluado: Principales equipos/sistemas en estudio del edificio.
- Aspecto medido: consumo de energía eléctrica y potencia instalada del equipo/sistema (kWh/mes-m² y W/m²).

Tabla 46. Indicadores de gestión energética, nivel 2.

Nivel 2				
Indicador	Zona	Unidad	Valor actual	Fuente de información
Índice de consumo energético por aplicación	Tomacorrientes	kWh/mes-m ²	0,429	Auditoría energética: Sistema de monitoreo
	Iluminación		0,50	
	Sistema de climatización artificial		2,61	
Índice de potencia instalada por aplicación	Tomacorrientes	W/m ²	Variable	Inventario de equipos y planos arquitectónicos.
	Iluminación		2,47	
	Sistema de climatización artificial		14,74	

Fuente: Elaboración propia.

Nivel 3: Indicador de eficiencia energética.

Este nivel está relacionado a la eficiencia de las plantas de enfriamiento de agua (*chillers*), a partir del diagnóstico energético realizado a este sistema.

- Elemento evaluado: Correspondiente a la operación con un *chiller* principal.
- Aspecto medido: Capacidad de enfriamiento según la potencia consumida indicada por el sistema de monitoreo. (kW/Ton).

Tabla 47. Indicadores de gestión energética, nivel 3.

Nivel 3				
Indicador	Aplicación	Unidad	Valor actual	Fuente de información
Eficiencia energética	<i>Chiller</i>	kW/Ton	1,22	Diagnóstico energético. Capacidad planta al 100%
Densidad de potencia instalada para iluminación	Iluminación	W/ft ²	0,76	Inventario de luminarias

Fuente: Elaboración propia.

Nivel 4: Indicador de emisiones.

Se monitorea las emisiones CO₂ producidas si la energía hubiese sido generada a partir de fuentes no renovables. Este indicador es empleado a nivel mundial como referencia ambiental y energética.

- Elemento evaluado: Se evalúa el consumo de las divisiones contempladas en este proyecto, en un período mensual. El resultado es una estimación.
- Aspecto medido: La energía consumida es convertida en emisiones de TonCO₂ por una calculadora ambiental brindada por la web de *Profitable Green Solutions*.

Tabla 48. Indicadores de gestión energética, nivel 4.

Nivel 4				
Indicador	Zona	Unidad	Valor actual	Fuente de información
Índice de emisiones de CO ₂	Edificio B*	TonCO ₂ /mes	54	Conversión de los consumos Energéticos, en emisiones CO ₂ .

Fuente: Calculadora ambiental: *profitablegreensolutions*

Gestión de indicadores

A partir de los indicadores planteados y de las oportunidades de ahorro que existen, se muestra, el listado de indicadores que aplican para la comparación y las metas

esperadas para ellos, utilizando equipos de automatización y control, y el reemplazo de las plantas enfriadoras de agua.

Tabla 49. Comparación de indicadores actuales y meta.

Nivel	Indicador	Unidad	Valor actual	Valor meta
2	Índice de consumo energético por iluminación	kWh/mes-m ²	0,50	0,24
2	Sistema de climatización artificial	kWh/mes-m ²	2,61	1,69
3	Eficiencia energética plantas de enfriamiento de agua	kW/Ton	1,22	0,85
4	Índice de emisiones de CO ₂	TonCO ₂ /mes	54	48

4 Conclusiones.

- Se desarrolló un modelo metodológico genérico para la evaluación de la eficiencia energética en edificios de oficinas, para la obtención de indicadores de gestión, establecido en 4 niveles.
- Se realizó una auditoría energética de primer nivel al edificio B, para establecer los perfiles de consumos energéticos de las divisiones analizadas en el período de estudio.
- Se comparó la carga térmica instalada con la carga térmica calculada de cada recinto climatizado según los métodos propuestos por ASHRAE. Los resultados indican un sobre diseño en la mayoría de los recintos, con excepción algunos recintos cuyo déficit respecto a la carga instalada se indica en los paréntesis: B1-K8 (64%), B3-M13 (22%), B3-K13 (43%) y B4-A14 (32%), sala de cubículos piso 4 (8%), cuarto caliente (194%). Además se determina que la carga térmica total del edificio B es de 133TR con un factor de diversidad del 90%.
- Se realizó un diagnóstico energético al sistema de iluminación, por lo que se evalúan propuestas para el control de la iluminación. Los resultados brindan una eventual disminución del 30% en energía y del 20% en demanda a la potencia instalada en iluminación, debido a un aprovechamiento de luz natural, además de un 10% en energía debido recortes de potencia nominal en períodos estratégicos.
- Se determinó propuestas de ahorro de ahorro energético aplicables al sistema de climatización artificial, con una reducción del indicador kW/Ton en un 33% respecto al sistema actual, reducción del 100% del índice Potencial de Agotamiento del Ozono (PAO). Se disminuye un 20% la demanda máxima en el arranque de las unidades *fan coil*. Se hace un análisis preliminar para la evaluación de la factibilidad de una propuesta de banco de hielo.

5 Recomendaciones.

- Evaluar las alternativas para la eliminación del refrigerante R-22, en un corto plazo.
- Poner en funcionamiento las cortinas de aire en *lobbys* disminuye la carga térmica por infiltraciones.
- Aplicar la secuencia de arranque de unidades *fan coil* para favorecer la disminución de la demanda máxima en horas de la mañana.
- Aplicar estrategias de control de iluminación para disminuir la carga térmica en horas críticas, y el recorte de potencia de luminarias para horas de almuerzo.
- Se recomienda evaluar con detalle la alternativa de banco de hielo, pues se considera la más viable como respuesta al perfil de demanda.
- Se recomienda que los sensores de temperatura se posicionen lo más cerca posible a los retornos de aire.
- Realizar mediciones con balómetro y comparar la cantidad de CFM suministrado a los recintos, para justificar un balance de aire.

3 Bibliografía

ABB (s f.) Eficiencia Energética en edificios con KNX: Beneficios de la automatización. Recuperado de: <https://library.e.abb.com/public/3364f20bb4db2637c1257b9600250912/2%20Catalogo%20de%20Beneficios%20Niessen-KNX/1TXA960031C0702.pdf>

American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers Inc [ASHRAE]. (2004). Procedures for Commercial Building Energy Audits. RP-669, SP 56. Atlanta: Autor.

Asamblea Legislativa. (1994). Ley 7447. Regulación del Uso Racional de la Energía. San José, Costa Rica. La Gaceta N° 236.

Carretero, P. A., & García, S. J. M. (2015). Gestión de la eficiencia energética: cálculo del consumo, indicadores y mejora. Madrid, ES: AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación. Retrieved from <http://www.ebrary.com>

Chanto, F. y Chanto, N. (2004). *Manual para la gestión energética y los programas de uso eficiente de la energía en la industria*. San José, Costa Rica: Refinadora Costarricense de Petróleo S. A., Dirección de estudios de demanda energética, Ministerio de Ambiente y Energía

Dakwale, V. A., Ralegaonkar, R., & Mandavgane, S. (2011). Improving environmental performance of building through increased energy efficiency: A review. *Sustainable Cities and Society*, 1(4), pp. 211-218.

Marchais, J (2011). Generando ahorros permanentes con Soluciones de Eficiencia Energética Activa. [archivo PDF]. Recuperado de:

<http://www2.schneider-electric.com/documents/support/white-papers/active-energy-efficiency-in-lam-spanish-998-2834.pdf>

Pacific Northwest. (2011). A Guide to energy audits. Building Technologies Program. US Department of Energy. Recuperado de: http://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/pnnl-20956.pdf

Díaz, V. S. (2001). Acondicionamiento térmico de edificios: eficiencia y uso racional de la energía (2a. ed.). Buenos Aires, AR: Editorial Nobuko. Retrieved from <http://www.ebrary.com>.

VonNieda B, Maniccia D, & Tweed A. 2000. An analysis of the energy and cost savings potential of occupancy sensors for commercial lighting systems. Proceedings of the Illuminating Engineering Society. Paper #43.

Newsham GR & Birt B. 2010. Demand-responsive lighting: a field study. Leukos. 6(3) pp. 203-225.

Reinhart CF. 2002. Effects of interior design on the daylight availability in open plan offices.

Williams A, et al.,. 2012. Lighting Controls in Commercial Buildings. Leukos. 8(3) pp. 161-180.

Apéndices

Apéndice 1. Recintos climatizados.

Número de piso	Código	Descripción	Área (m2)	Área (ft2)
Piso B1	B1-A12	Meeting room	28,44	306
	B1-B9	Meeting room	41,35	445
	Innovation room	0	68,25	735
	B1-K1	Huddle room	9,2	99
	B1-K2	Huddle room	9,45	102
	B1-K3	Huddle room	6,22	67
	B1-K4	Huddle room	9,07	98
	B1-G10	Huddle room	5,38	58
	B1-E10	Huddle room	5,38	58
	B1-D10	Huddle room	5,38	58
	Sala de cubículos	0	416,19	4480
	B1-L8	Training room	92,43	995
	B1-K8	VCR	20,19	217
	B1-K9	Storage room	10,44	112
	Cuarto caliente	0	20	215
	Lobby-cafetería	0	87	936
	Pasillo	0	74,46	801

Número de piso	Código	Descripción	Área (m2)	Área (ft2)
Piso B2	B2-E1	Huddle room	7,66	82
	B2-F1	Huddle room	5,4	58
	B2-G1	Huddle room	5,3	57
	B2-H1	Huddle room	7,83	84
	B2-E3	Huddle room	10,56	114
	B2-H3	Huddle room	10,5	113
	B2-H4	Huddle room	8,62	93
	B2-E6	Huddle room	8,5	91
	B2-H6	Huddle room	8,5	91
	B2-E7	Huddle room	9,57	103
	B2-H7	Huddle room	9,57	103
	B2-E8	Huddle room	5,63	61
	B2-H8	Huddle room	5,63	61
	B2-E9	Huddle room	6,11	66
	B2-H9	Huddle room	6,11	66
	B2-E15	Huddle room	7,94	85
	B2-K13	Meeting room	20,6	222
	B2-M13	conference room	46,24	498
	B2-A8	Huddle room	4,26	46
	B2-A9	Huddle room	6,18	67
	B2-R8	Huddle room	6,14	66
	B2-R9	Huddle room	6,14	66
	Lobby	0	52,34	563
Sala de cubículos	0	735,43	7916	
Huddle lobby	0	12,95	139	
Pantry	0	15,73	169	

Número de piso	Código	Descripción	Área (m2)	Área (ft2)
Piso B3	B3-E1	Huddle room	8,01	86
	B3-F1	Huddle room	5,39	58
	B3-G1	Huddle room	5,39	58
	B3-H1	Huddle room	7,96	86
	B3-E3	Huddle room	10,84	117
	B3-H3	Huddle room	10,84	117
	B3-H4	Huddle room	8,84	95
	B3-E6	Huddle room	8,46	91
	B3-H6	Huddle room	8,59	92
	B3-E7	Huddle room	9,89	106
	B3-H7	Huddle room	9,95	107
	B3-E8	Huddle room	6,11	66
	B3-H8	Huddle room	6,11	66
	B3-E9	Huddle room	5,98	64
	B3-H9	Huddle room	5,98	64
	B3-F14	Huddle room	9,15	98
	B3-K13	Meeting room	20,25	218
	B3-M13	Conference room	46,88	505
	B3-A6	Huddle room	5,76	62
	B3-A7	Huddle room	5,75	62
	B3-G5	Huddle room	5,52	59
	B3-G6	Huddle room	5,65	61
	Lobby	0		52,34
Sala de cubículos	0		737,63	7940
Huddle lobby	0		12,95	139
Pantry	0		15,70	169

Piso B4	B4-N14	VCR	45,36	488
	B4-M14	Conference room	21,55	232
	B4-G11	Conference room	51,99	560
	B4-K9	Huddle room	9,70	104
	B4-G7	Conference room	20,22	218
	B4-K4	Huddle room	10,87	117
	B4-L1	Huddle room	7,70	83
	B4-K1	Huddle room	5,04	54
	B4-G1	Huddle room	5,12	55
	B4-F1	Huddle room	7,77	84
	B4-G4	Huddle room	10,87	117
	B4-G9	Huddle room	9,70	104
	B4-A14	Training room	67,56	727
	B4-E12	Huddle room	6,04	65
	B4-C12	Huddle room	6,04	65
	B4-A12	Huddle room	5,90	64
	Sala de cubiculos	0	554,15	5965
	Huddle lobby	0	12,95	139
	Lobby	0	52,34	563
Pantry	0	15,88	171	

Apéndice 2. Cálculo de carga térmica.

El cálculo de carga térmica se realizó basado en la metodología de Edward Pita, y tablas de la normativa ASHRAE. Se presenta como archivo adjunto en el disco: "Cálculo de carga térmica".xlsx

Apéndice 3. Capacidad y cantidad de difusores de las unidades *fan coil* por piso.

UNIDADES FAN COIL PISO B2				
Código	Modelo	Capacidad		Difusor 4 vías
		CFM	Btu/h	
2203	42BH-020	2200	66000	6
2208	42BH-020	1560	46800	6
2207	42BH-016	1760	52800	6
2206	42BH-020	2200	66000	6
2210	42BH-012	1600	48000	6
2201	42BH-020	2380	71400	6
2202	42BH-020	2190	65700	7
2205	42BH-020	2200	66000	6
2204	42BH-020	2240	67200	6
2200-Lobby	42BH-030	3000	90000	3

UNIDADES FAN COIL PISO B3				
Código	Modelo	Capacidad		Difusor 4 vías
		CFM	Btu/h	
2306	42BH-020	1560	46800	7
2305	42BH-020	1760	52800	7
2304	42BH-020	2200	66000	6
2310	42BH-020	1600	48000	6
2307	42BH-012	2120	63600	6
2311	42BH-020	2200	66000	5
2303	42BH-020	2200	66000	6
2301	42BH-020	2380	71400	6
2302	42BH-020	2190	65700	6
2300	42BH-030	3080	92400	3

UNIDADES FAN COIL PISO B4				
Código	Modelo	Capacidad		Difusor 4 vías
		CFM	Btu/h	
2406	42BH-020	2000	60000	6
2409	42BH-020	1560	46800	6
2408	42BH-020	2200	66000	8
2407	42BH-020	2200	66000	6
2403	42BH-020	2060	61800	7
2402	42BH-020	2190	65700	6
2404	42BH-020	2000	60000	4
2405	42BH-020	2200	66000	6
2401	42BH-020	2380	71400	6
2400	42BH-030	3080	92400	3

Apéndice 4. Distribución de los recintos por máquina.

Apéndice 5. Carga de enfriamiento suministrada por recinto y el indicador BTU/hxft² para los pisos 2 y 3

Detalle del piso	Código	CFM suministrado	Carga suministrada (BTU/h)	Carga suministrada (TR)	Indicador (BTU/hxft²)
Piso B3	B3-E1	266,7	8000	0,7	93
	B3-F1	266,7	8000	0,7	138
	B3-G1	266,7	8000	0,7	138
	B3-H1	266,7	8000	0,7	93
	B3-E3	266,7	8000	0,7	69
	B3-H3	266,7	8000	0,7	69
	B3-H4	440,0	13200	1,1	139
	B3-E6	440,0	13200	1,1	145
	B3-H6	440,0	13200	1,1	143
	B3-E7	440,0	13200	1,1	124
	B3-H7	440,0	13200	1,1	123
	B3-E8	353,3	10600	0,9	161
	B3-H8	353,3	10600	0,9	161
	B3-E9	353,3	10600	0,9	165
	B3-H9	353,3	10600	0,9	165
	B3-F14	366,7	11000	0,9	112
	B3-K13	445,7	13371	1,1	61
	B3-M13	891,4	26743	2,2	53
	B3-A6	365,0	10950	0,9	177
	B3-A7	365,0	10950	0,9	177
	B3-G5	251,4	7543	0,6	127
	B3-G6	251,4	7543	0,6	124
	Lobby	2053,3	61600	5,1	109
Sala de cubículos	10277,6	308329	25,7	39	
Huddle lobby	1026,7	30800	2,6	221	
Pantry	691,4	20743	1,7	123	

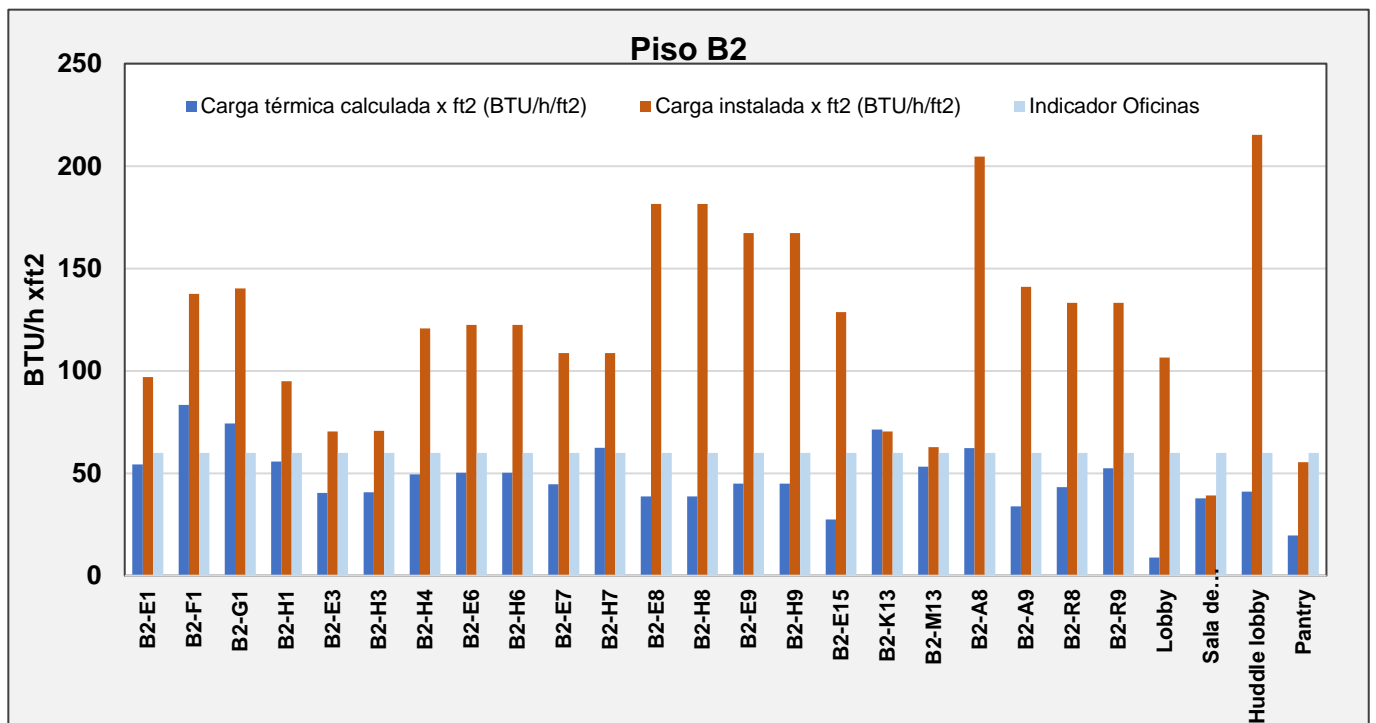
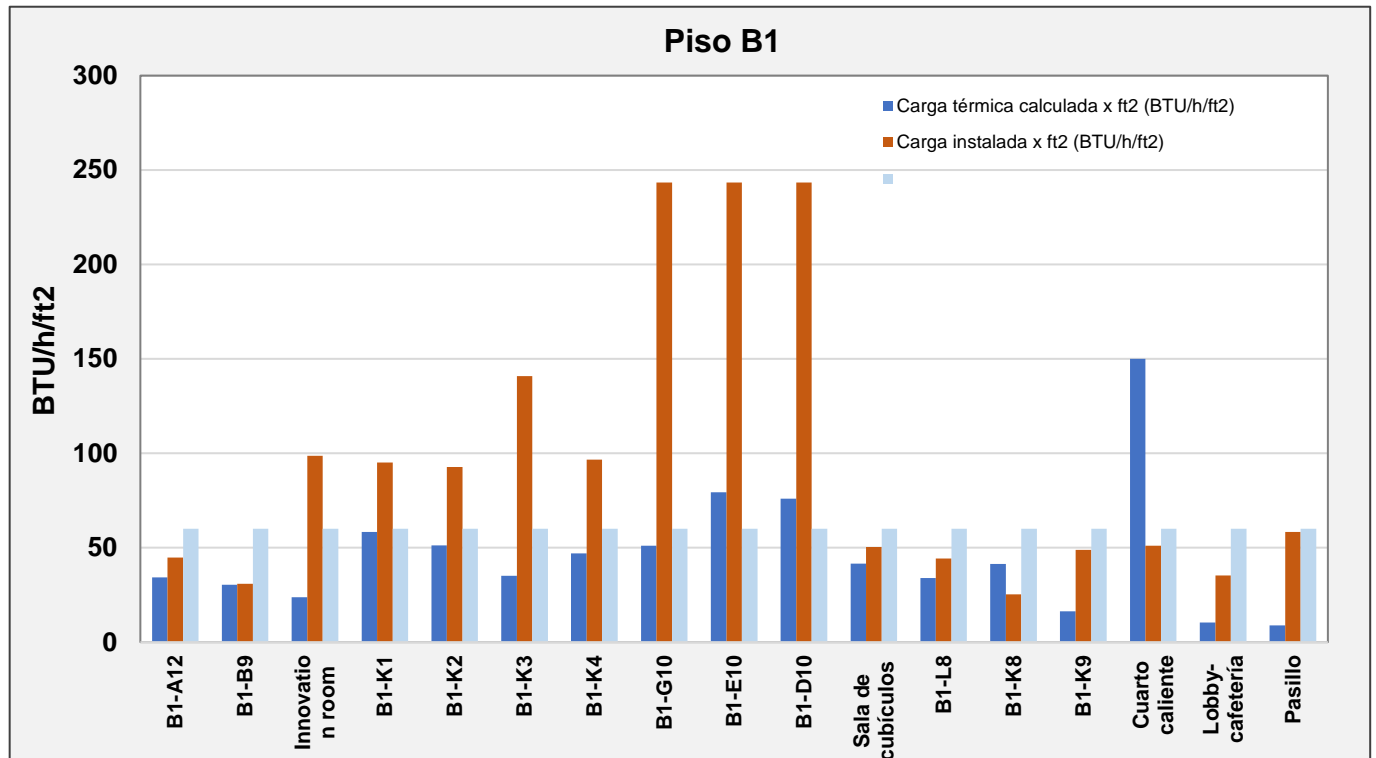
Detalle del piso	Código	CFM suministrado	Carga suministrada (BTU/h)	Carga suministrada (TR)	Indicador (BTU/hxft ²)
Piso B2	B2-E1	266,7	8000	0,7	97
	B2-F1	266,7	8000	0,7	138
	B2-G1	266,7	8000	0,7	140
	B2-H1	266,7	8000	0,7	95
	B2-E3	266,7	8000	0,7	70
	B2-H3	266,7	8000	0,7	71
	B2-H4	373,3	11200	0,9	121
	B2-E6	373,3	11200	0,9	122
	B2-H6	373,3	11200	0,9	122
	B2-E7	373,3	11200	0,9	109
	B2-H7	373,3	11200	0,9	109
	B2-E8	366,7	11000	0,9	182
	B2-H8	366,7	11000	0,9	182
	B2-E9	366,7	11000	0,9	167
	B2-H9	366,7	11000	0,9	167
	B2-E15	366,7	11000	0,9	129
	B2-K13	520,0	15600	1,3	70
	B2-M13	1040,0	31200	2,6	63
	B2-A8	312,9	9386	0,8	205
	B2-A9	312,9	9386	0,8	141
	B2-R8	293,3	8800	0,7	133
	B2-R9	293,3	8800	0,7	133
	Lobby	2000,0	60000	5,0	106
	Sala de cubículos	10351,4	310543	25,9	39
Huddle lobby	1000,0	30000	2,5	215	
Pantry	312,9	9386	0,8	55	

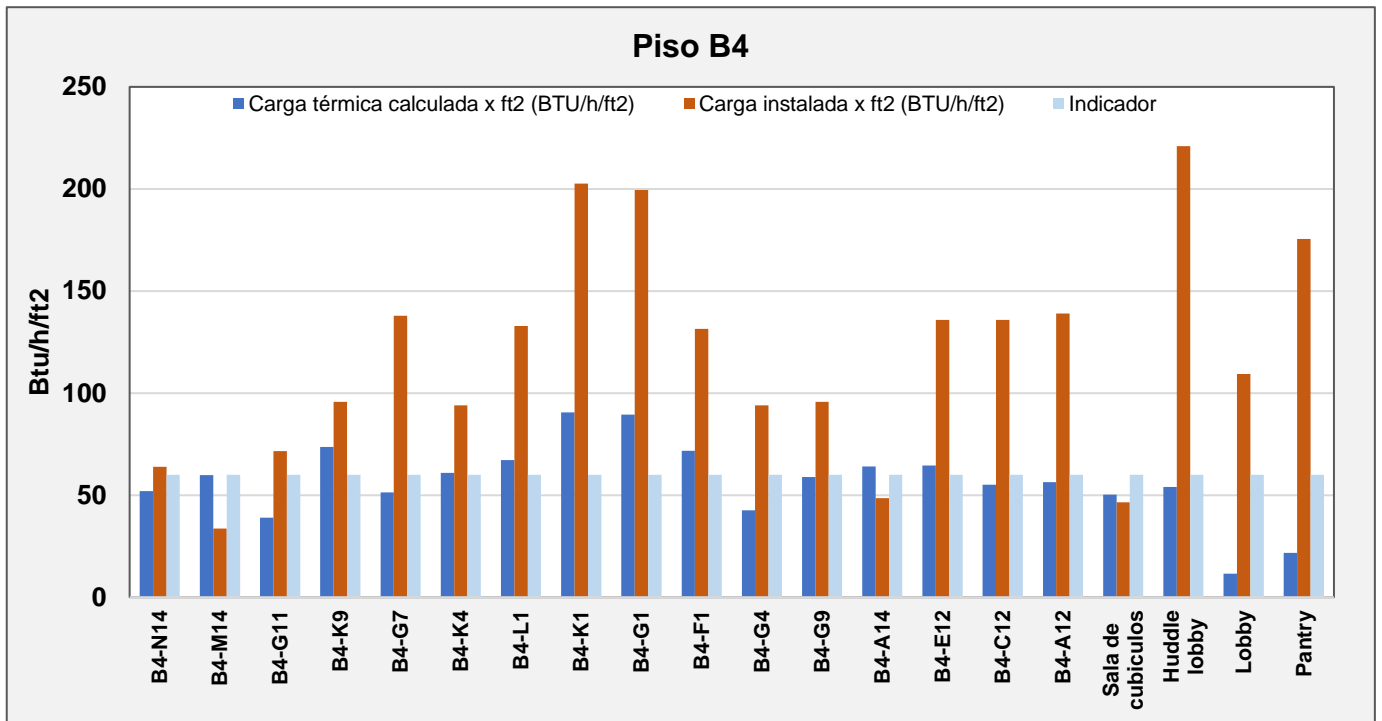
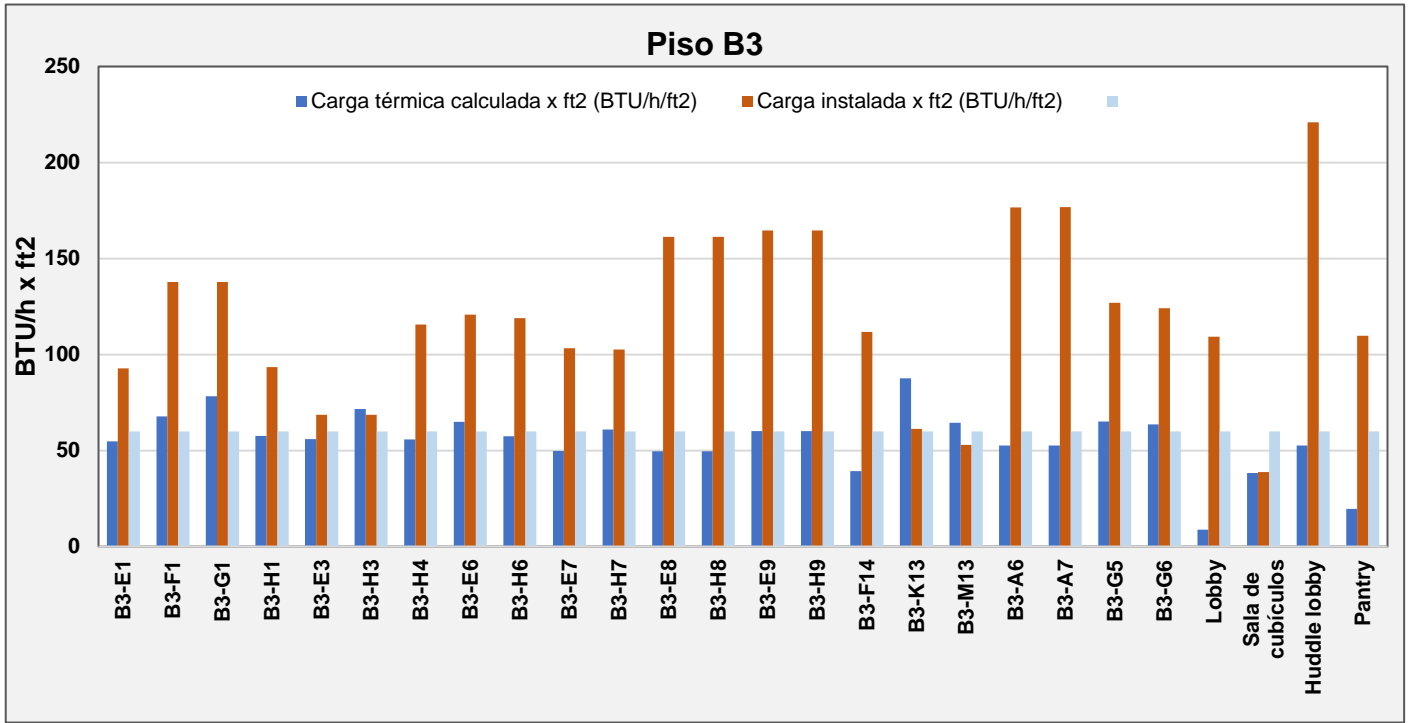
Apéndice 6. Condiciones de CFM para el aire de suministro.

Recintos piso B2	CFM suministrado	CFM Psicometría
B2-E1	267	157
B2-F1	267	174
B2-G1	267	158
B2-H1	267	167
B2-E3	267	163
B2-H3	267	163
B2-H4	373	48
B2-E6	373	163
B2-H6	373	163
B2-E7	373	163
B2-H7	373	163
B2-E8	367	211
B2-H8	367	84
B2-E9	367	84
B2-H9	367	100
B2-E15	367	84
B2-K13	520	510
B2-M13	1040	914
B2-A8	313	95
B2-A9	313	79
B2-R8	293	95
B2-R9	293	111
Lobby	2000	144
Sala de cubículos	10351	11198
Huddle lobby	1000	214
Pantry	313	77

Recintos piso B2	CFM suministrado	CFM Psicometría
B3-E1	267	169
B3-F1	267	156
B3-G1	267	172
B3-H1	267	178
B3-E3	267	227
B3-H3	267	275
B3-H4	367	195
B3-E6	367	211
B3-H6	367	195
B3-E7	367	195
B3-H7	367	227
B3-E8	353	114
B3-H8	353	114
B3-E9	353	130
B3-H9	353	130
B3-F14	367	130
B3-K13	446	670
B3-M13	891	1236
B3-A6	365	114
B3-A7	365	114
B3-G5	251	130
B3-G6	251	130
Lobby	2053	144
Sala de cubículos	10278	11794
Huddle lobby	1027	276
Pantry	618	77

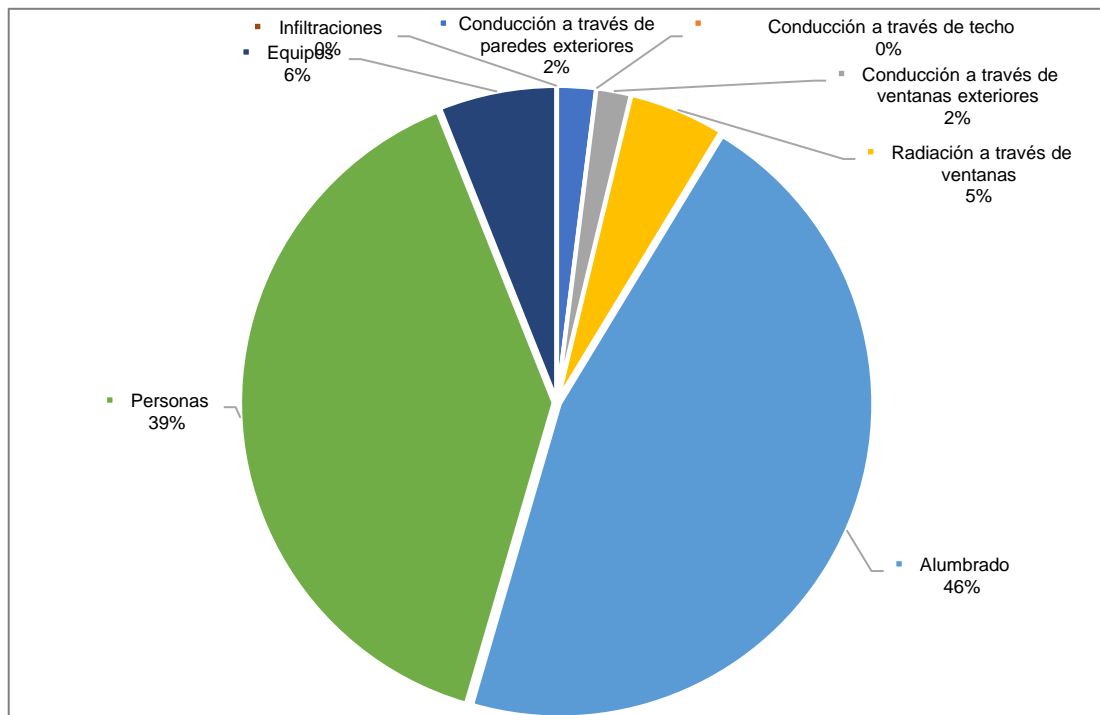
Apéndice 7. Comparación energética en BTU/h xft² con indicador de referencia.

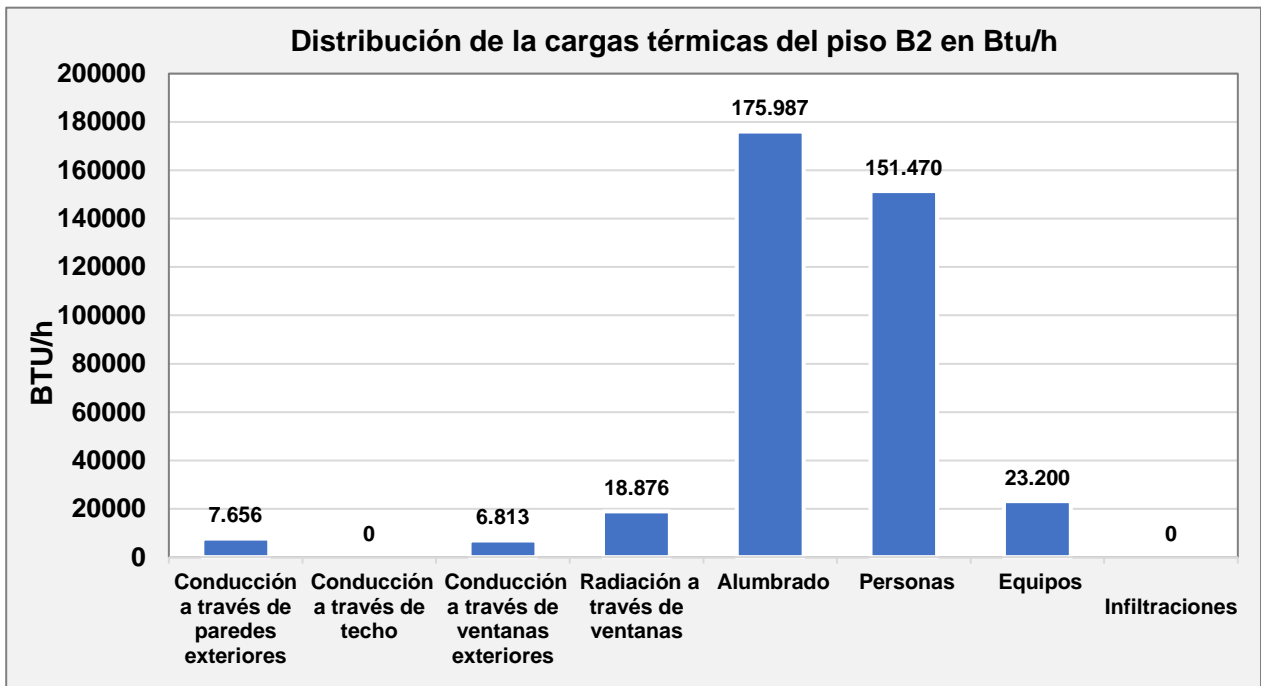




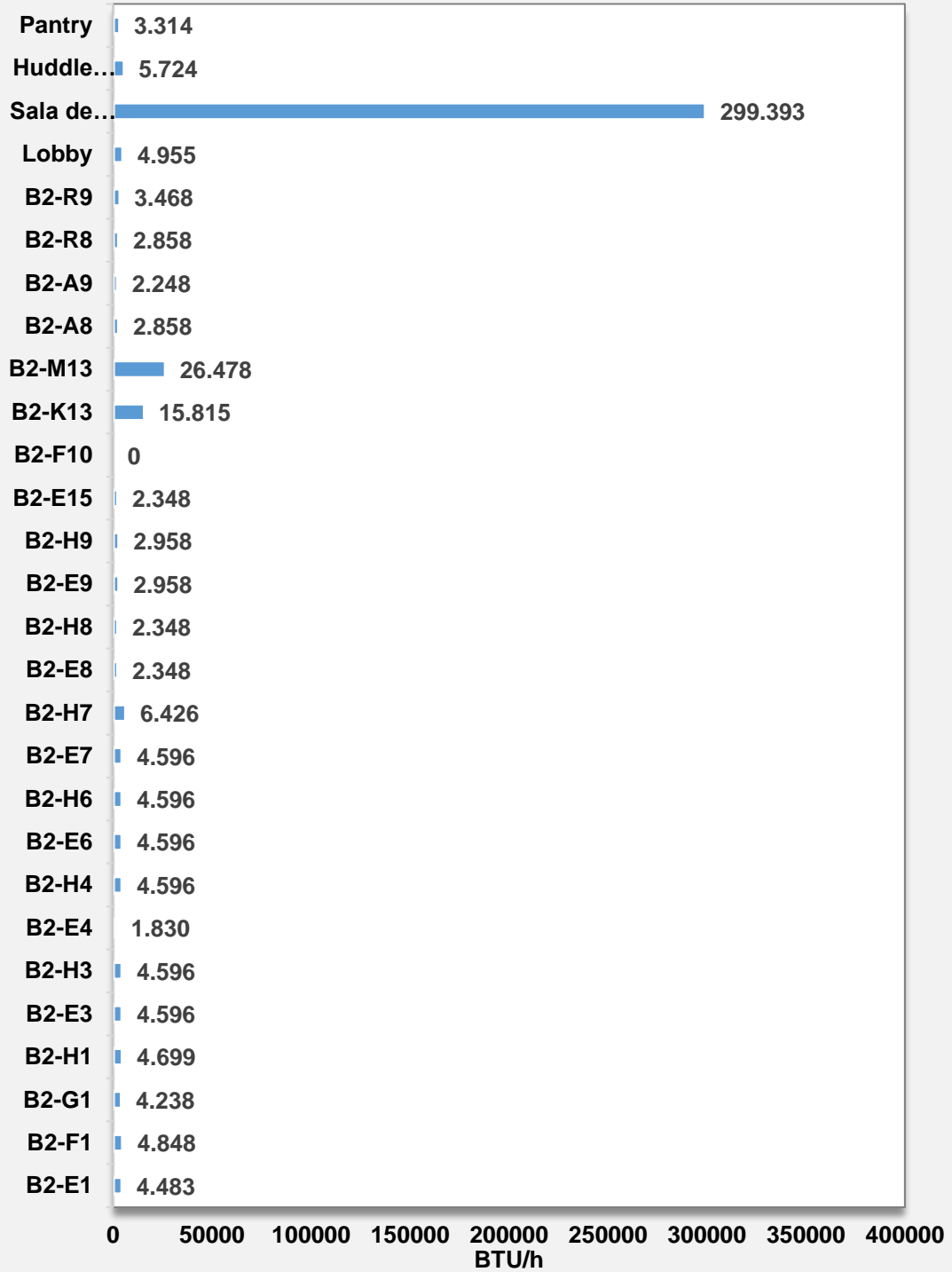
Apéndice 8. Resultados de carga térmica para los pisos 2 y 3.

- **Piso 2**

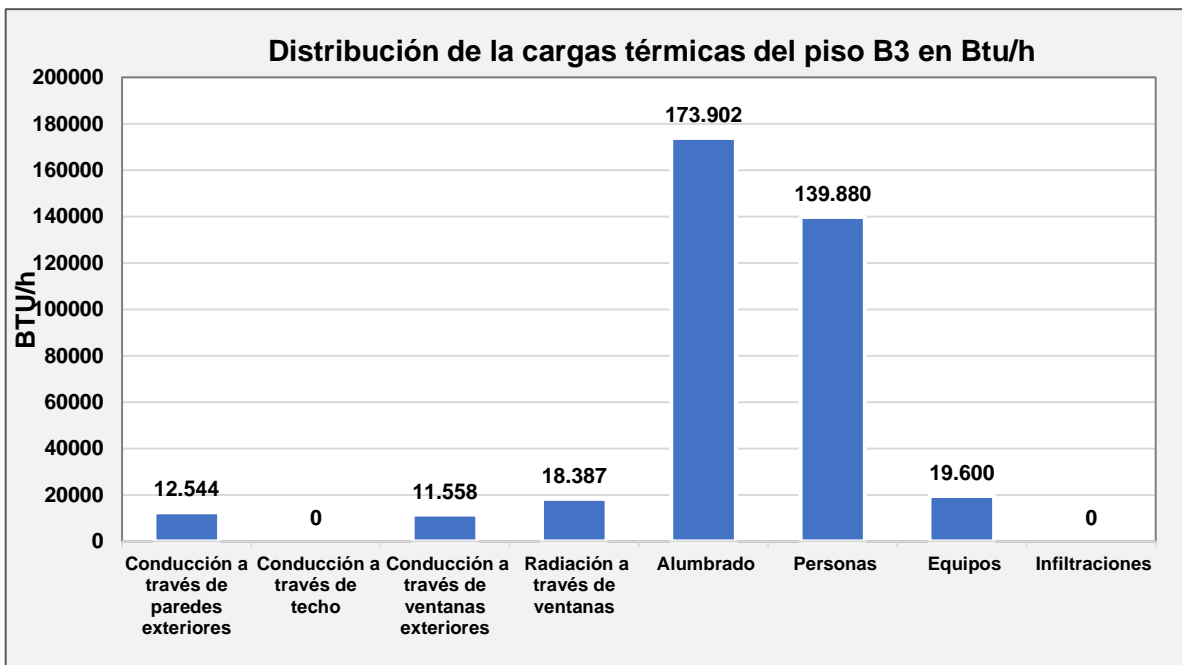
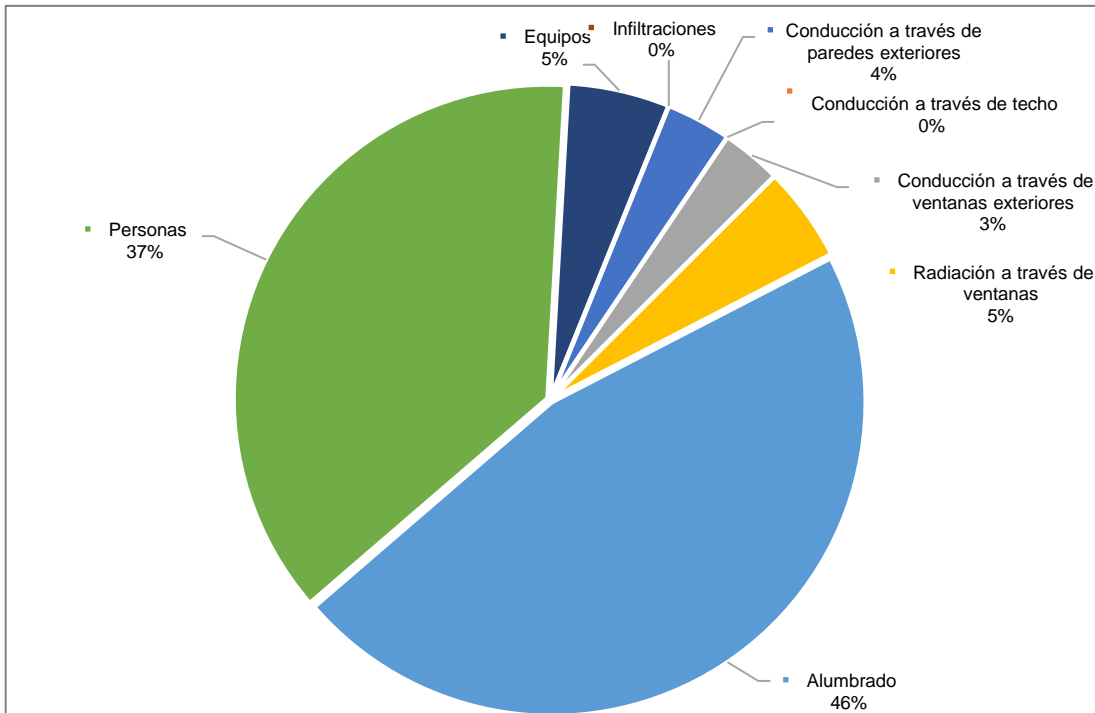




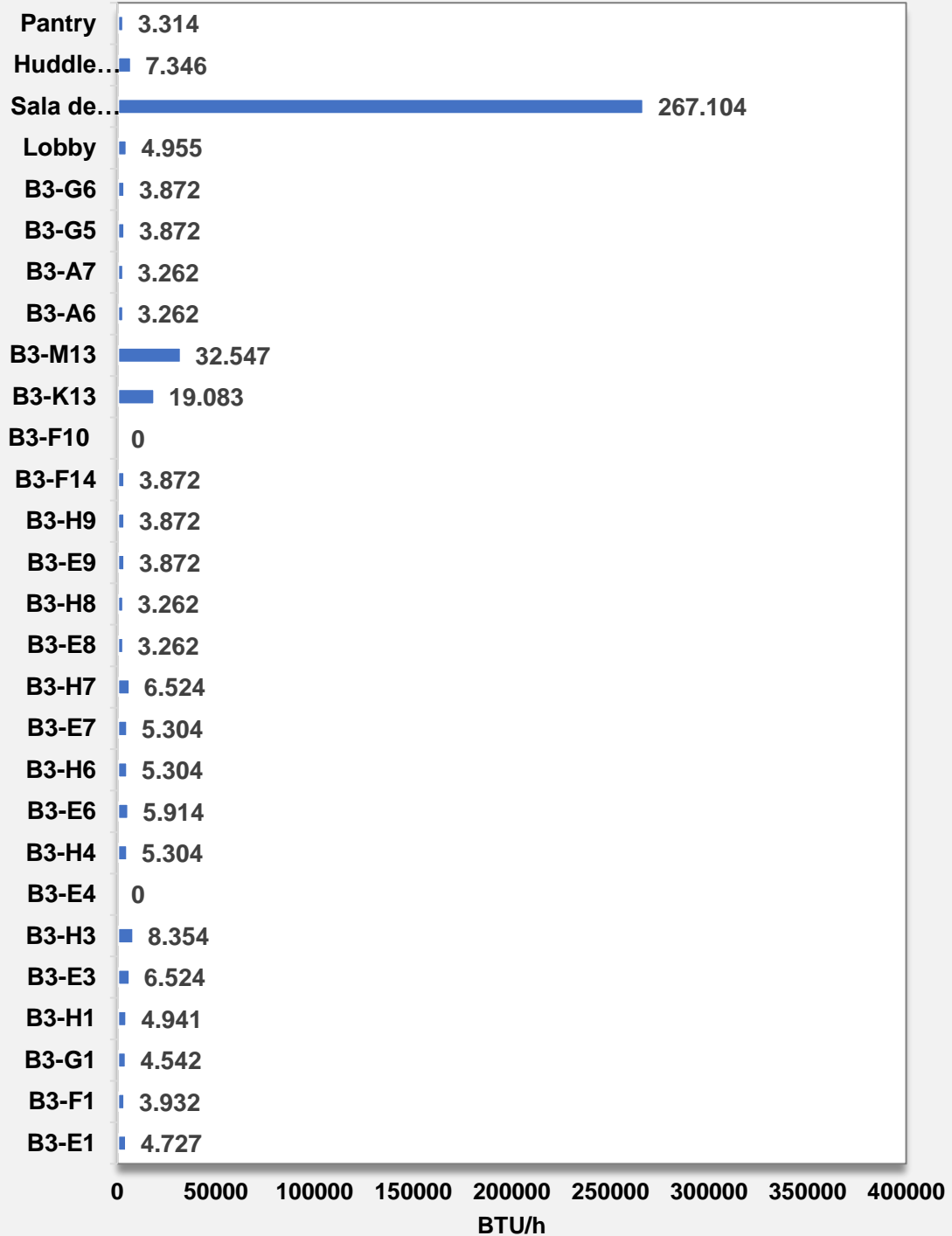
Carga térmica total por recintos del piso B2



• **Piso 3**



Carga térmica total por recintos del piso B3



Apéndice 9. Datos del motor de las unidades fan coil, y su horario de arranque.

Código	Motor	Hp	Eficiencia	Potencia entrada (kW)	Potencia entrada (kVA)	fp	Corriente de arranque	Variador de frecuencia	Horario
2400	1,70	1,00	0,79	0,95	1,35	0,70	10,04		7am a 5pm
2401	2,40	1,50	0,79	1,43	1,91	0,75	15,06		6am a 5pm
2402	2,40	1,50	0,79	1,43	1,91	0,75	15,06		6:40am a 5pm
2403	1,70	1,00	0,79	0,95	1,35	0,70	10,04	x	6:40am a 5pm
2404	2,40	1,50	0,79	1,43	1,91	0,75	15,06	x	6:40am a 5pm
2405	1,70	1,00	0,79	0,95	1,35	0,70	10,04	x	6:40am a 5pm
2406	2,40	1,50	0,79	1,43	1,91	0,75	15,06	x	6:40am a 5pm
2407	2,40	1,50	0,79	1,43	1,91	0,75	15,06		6:40am a 5pm
2408	1,70	1,00	0,79	0,95	1,35	0,70	10,04		6am a 5pm
2409	1,70	1,00	0,79	0,95	1,35	0,70	10,04	x	6am a 5pm
2300	1,70	1,00	0,79	0,95	1,35	0,70	10,04		7am a 5pm
2301	2,40	1,50	0,79	1,43	1,91	0,75	15,06		6am a 5pm
2302	2,40	1,50	0,79	1,43	1,91	0,75	15,06	x	6am a 5pm
2303	2,40	1,50	0,79	1,43	1,91	0,75	15,06	x	6am a 5pm
2304	2,40	1,50	0,79	1,43	1,91	0,75	15,06		6am a 5pm
2305	1,70	1,00	0,79	0,95	1,35	0,70	10,04	x	7am a 5pm
2306	2,40	1,50	0,79	1,43	1,91	0,75	15,06	x	6am a 5pm
2307	1,70	1,00	0,79	0,95	1,35	0,70	10,04	x	6am a 5pm
2310	1,70	1,00	0,79	0,95	1,35	0,70	10,04	x	6am a 5pm
2311	1,70	1,00	0,79	0,95	1,35	0,70	10,04	x	6am a 5pm
2200	1,70	1,00	0,79	0,95	1,35	0,70	10,04		7am a 5pm
2205	1,70	1,00	0,79	0,95	1,35	0,70	10,04	x	7am a 5pm
2201	2,40	1,50	0,79	1,43	1,91	0,75	15,06		7am a 5pm
2202	2,40	1,50	0,79	1,43	1,91	0,75	15,06	x	7am a 5pm
2203	2,40	1,50	0,79	1,43	1,91	0,75	15,06	x	7am a 5pm
2204	2,40	1,50	0,79	1,43	1,91	0,75	15,06	x	7am a 5pm
2206	2,40	1,50	0,79	1,43	1,91	0,75	15,06		7am a 5pm
2207	1,70	1,00	0,79	0,95	1,35	0,70	10,04	x	7am a 5pm
2208	2,40	1,50	0,79	1,43	1,91	0,75	15,06	x	7am a 5pm
2210	1,70	1,00	0,79	0,95	1,35	0,70	10,04	x	7am a 5pm
2100	1,70	1,00	0,79	0,95	1,35	0,70	10,04		7am a 5pm
2101	2,40	1,50	0,79	1,43	1,91	0,75	15,06		7am a 5pm
2102	2,40	1,50	0,79	1,43	1,91	0,75	15,06		7am a 5pm
2103	2,40	1,50	0,79	1,43	1,91	0,75	15,06	x	7am a 5pm
2104	1,70	1,00	0,79	0,95	1,35	0,70	10,04	x	7am a 5pm
2105	2,40	1,50	0,79	1,43	1,91	0,75	15,06		7am a 5pm
2106	1,70	1,00	0,79	0,95	1,35	0,70	10,04	x	7am a 5pm

2108	2,40	1,50	0,79	1,43	1,91	0,75	15,06	x	7am a 5pm
2109	2,40	1,50	0,79	1,43	1,91	0,75	15,06	x	7am a 5pm

Apéndice 9. Comportamiento de la demanda de los consumidores significativos.

Hora	Chiller 1	Chiller 2	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4
5:00:00 a. m.	0,76	0,820986	7,06	2,81	3,37	1,13
5:15:00 a. m.	0,76	0,819373	5,12	2,81	2,01	1,14
5:30:00 a. m.	0,76	0,819432	5,21	2,80	2,02	3,25
5:45:00 a. m.	0,77	0,821917	5,39	3,57	5,58	6,14
6:00:00 a. m.	0,76	0,818857	5,35	3,32	15,82	9,33
6:15:00 a. m.	0,75	0,804553	8,74	7,27	16,44	9,55
6:30:00 a. m.	3,87	137,98	16,53	7,28	16,33	9,71
6:45:00 a. m.	91,06	12,14	11,88	7,32	16,77	14,81
7:00:00 a. m.	130,73	12,00	20,24	17,67	16,14	14,03
7:15:00 a. m.	129,75	12,08	19,46	15,38	14,22	13,28
7:30:00 a. m.	129,59	12,07	15,75	13,91	14,14	12,29
7:45:00 a. m.	129,59	12,07	19,45	13,91	13,31	12,55
8:00:00 a. m.	127,82	12,02	19,91	13,91	13,31	12,55
8:15:00 a. m.	128,60	11,99	22,12	12,85	14,26	12,08
8:30:00 a. m.	123,75	12,07	18,40	13,36	14,04	12,53
8:45:00 a. m.	124,85	12,06	21,04	13,20	14,70	12,01
9:00:00 a. m.	126,13	12,11	15,86	13,62	14,30	12,05
9:15:00 a. m.	129,17	12,09	20,44	14,04	14,61	12,51
9:30:00 a. m.	127,69	12,14	17,84	13,94	14,71	12,63
9:45:00 a. m.	126,91	12,02	15,60	13,75	14,77	12,10
10:00:00 a. m.	127,22	12,05	18,83	13,38	14,61	12,49
10:15:00 a. m.	130,21	12,13	17,06	13,87	14,93	13,02
10:30:00 a. m.	130,53	11,96	18,95	14,56	15,15	12,67
10:45:00 a. m.	135,40	11,97	20,07	14,74	14,82	12,50
11:00:00 a. m.	130,46	12,03	21,66	14,36	15,29	12,77
11:15:00 a. m.	130,90	11,98	21,66	14,57	14,99	12,38
11:30:00 a. m.	130,55	12,01	21,66	14,75	14,98	13,92
11:45:00 a. m.	134,48	12,03	22,47	14,87	15,03	13,45
12:00:00 p. m.	137,48	12,03	21,47	14,87	14,03	13,45
12:15:00 p. m.	134,06	12,00	21,11	13,25	13,85	12,11
12:30:00 p. m.	138,55	12,05	18,12	13,02	13,36	12,14
12:45:00 p. m.	136,85	12,08	21,90	12,72	13,53	11,91
1:00:00 p. m.	135,89	12,03	16,82	12,50	12,82	12,50
1:15:00 p. m.	128,11	12,10	23,87	12,90	13,38	13,02
1:30:00 p. m.	128,06	11,99	16,55	13,00	13,66	13,73
1:45:00 p. m.	126,07	12,12	22,54	12,93	13,96	13,73
2:00:00 p. m.	119,62	12,08	16,52	12,95	14,27	13,80
2:15:00 p. m.	3,89	54,61	19,47	13,71	14,85	13,75
2:30:00 p. m.	4,10	147,23	16,27	13,33	14,59	13,69
2:45:00 p. m.	3,66	143,76	20,91	13,49	14,66	14,42
3:00:00 p. m.	3,77	141,26	20,82	13,59	14,45	14,34
3:15:00 p. m.	4,06	133,46	24,87	13,54	14,57	13,47
3:30:00 p. m.	3,64	132,43	21,98	13,79	14,62	13,85
3:45:00 p. m.	3,83	125,02	20,40	13,44	14,15	14,32
4:00:00 p. m.	3,66	118,23	18,86	12,97	14,87	13,53
4:15:00 p. m.	3,82	115,94	21,66	12,95	13,34	13,43
4:30:00 p. m.	3,85	111,20	18,00	12,70	12,49	12,83
4:45:00 p. m.	3,83	123,29	17,13	12,53	12,35	11,92
5:00:00 p. m.	3,72	73,64	13,07	12,69	12,19	12,27
5:15:00 p. m.	0,76	29,82	9,95	7,82	8,00	7,32
5:30:00 p. m.	0,77	30,22	7,10	7,73	7,26	6,80
5:45:00 p. m.	0,77	29,22	10,39	7,38	7,12	6,83
6:00:00 p. m.	0,76	31,04	7,69	7,67	7,25	6,78
6:15:00 p. m.	0,77	0,83	10,13	7,49	5,05	6,63
6:30:00 p. m.	0,77	0,83	7,16	6,61	7,29	7,12

6:45:00 p. m.	0,77	0,83	6,56	6,58	7,10	6,64
---------------	------	------	------	------	------	------

Apéndice 10. Capacidades de enfriamiento de las unidades fan coil

Unit size 42BH	Nominal CFM	Coil rows	EWT	GPM	Total Capacity			Sensible capacity		
					MBtuh	Btuh	Ton	MBtuh	Btuh	Ton
12	1200	4	40	10,4	52	52000	4	31	31000	3
			45	7,9	39,5	39500	3	26	26000	2
			50	5,2	26	26000	2	22	22000	2
		6	40	12,6	63	63000	5	37,5	37500	3
			45	9,8	49	49000	4	32,5	32500	3
			50	7	35	35000	3	27	27000	2
16	1600	4	40	14,2	71	71000	6	44,5	44500	4
			45	10,2	51	51000	4	38	38000	3
			50	6,2	31	31000	3	31	31000	3
		6	40	16,2	81	81000	7	50	50000	4
			45	11,9	59,5	59500	5	42	42000	4
			50	7,5	37,5	37500	3	33	33000	3
20	2000	4	40	18,8	94	94000	8	58	58000	5
			45	13,4	67	67000	6	48	48000	4
			50	8,6	43	43000	4	39	39000	3
		6	40	21	105	105000	9	63,5	63500	5
			45	16	80	80000	7	52,2	52200	4
			50	11	55	55000	5	42	42000	4
30	3000	4	40	25,6	128	128000	11	83	83000	7
			45	18,4	92	92000	8	70,5	70500	6
			50	13,9	69,5	69500	6	56,7	56700	5
		6	40	32,9	164,5	164500	14	98	98000	8
			45	25,6	128,5	128500	11	84	84000	7
			50	18,5	92,5	92500	8	68	68000	6

Apéndice 11. Demanda máxima de las divisiones consumidoras.

Demanda máxima edificio B (kW)

Mes	CHM-18		CHM-23		Aso común		Elevadores		Pso 01		Pso 02		Pso 03		Pso 04		URS		Bombos		Servicios generales		Total												
	Punta	Noche	Punta	Noche	Punta	Noche	Punta	Noche	Punta	Noche	Punta	Noche	Punta	Noche	Punta	Noche	Punta	Noche	Punta	Noche	Punta	Noche	Punta	Noche											
mar-17	137,0	16,3	40,3	10,9	10,2	18,3	8,1	11,9	17,5	6,3	25,8	27,7	12,1	18,4	20,9	8,1	18,4	19,5	5,4	17,4	18,0	9,8	12,7	13,4	10,6	6,9	7,8	6,3	23,3	31,9	26,1	328	330	19,5	
abr-17	147,1	18,8	7,2	10,9	10,8	10,5	19,1	7,0	10,8	15,6	8,7	27,3	31,0	10,9	19,1	21,4	7,0	19,4	21,2	17,5	18,2	17,4	10,0	13,2	12,5	11,1	5,8	7,4	5,4	23,7	32,8	26,2	312	374	12,2
may-17	140,7	14,6	16,2	9,1	10,7	12,3	7,2	13,1	19,9	8,4	27,0	28,3	11,4	19,5	19,5	11,7	20,3	19,5	11,3	18,2	17,9	14,7	15,3	14,1	11,2	6,4	7,1	6,0	31,8	32,4	27,3	378	411	29,9	
jun-17	141,9	13,1	13,7	13,1	11,3	16,7	10,8	12,9	16,0	17,0	26,8	23,3	12,3	20,0	18,1	8,3	19,2	18,3	16,1	17,6	15,5	15,2	9,2	5,9	7,8	7,0	6,5	7,3	5,8	23,8	33,1	25,8	437	433	29,3
Jul-17	137,5	13,7	14,7	14,7	10,6	12,1	6,9	12,8	16,0	22,8	25,0	23,3	11,7	17,8	19,3	7,7	15,8	19,0	16,0	15,6	15,2	16,2	9,0	4,0	3,4	4,0	7,0	7,9	5,5	23,8	33,1	25,3	426	429	14,1
TOTAL	712	724	339	409	421	194	51	40	61	85	42	132	146	58	95	99	43	94	96	76	87	86	53	49	51	44	33	37	29	149	163	131			

Apéndice 12. Caso práctico de un estudio energético en iluminación a partir de una hoja electrónica programada por el realizador del proyecto. Aplicación: Piso 9, edificio *Escazú Corporate Center*.

Proyecto ED-P047 Control de iluminación BMS

Propuesta control de iluminación

Análisis comparativo del consumo energético entre el sistema actual y sistema propuesto

Fecha: octubre de 2017

Realizado por: ControlSoft

1. Descripción del estudio.

Dada la propuesta de cambio de luminarias, de fluorescente a tecnología LED, se obtienen múltiples beneficios, que, acompañado de un sistema de control de iluminación, logra complementar la eficiencia energética desde un punto de vista pasivo y activo, para lograr el objetivo en común: Ahorro Energético. Ahora bien, es necesario cuantificar estos datos en un análisis comparativo, tomando en cuenta consumos energéticos, costo de operación, indicadores de eficiencia, impacto ambiental, cantidad de Lux y retorno de la inversión.

2. Consideraciones y conceptos de interés.

- Flujo Luminoso (Lm).

Es la medida de la potencia luminosa percibida. Su unidad de medida en el Sistema internacional es el lumen (Lm).

- Eficiencia luminosa (Lm/watt).

Es la cantidad de luz que emite una fuente de luz por cada watt de potencia consumida. Mientras menos watts consume una lámpara y más luz emita, más eficiente es.

- Intensidad luminosa (cd).

Se define como la cantidad de flujo luminoso que emite una fuente por unidad de ángulo sólido.

- Nivel luminoso (lux).

Es la cantidad de flujo luminoso que emite una superficie por unidad de área. La unidad de medida en el SI es el lux

$$\text{lux} = \frac{\text{lm}}{\text{m}^2}$$

- Potencia de una luminaria.

La potencia del conjunto luminaria, dependerá de la cantidad de lámparas presentes y del tipo de balastro, quien es el encargado de suministrar la tensión y limitar la corriente. Mientras éste sea más eficiente, se reducirán las pérdidas, disminuyendo la potencia de entrada de la luminaria.

- Horas de operación.

Se hace un estimado de 3800 horas anuales, tomando en cuenta una operación de alrededor de 12 horas diarias para las zonas IS/CS y Supply chain.

- Porcentaje de ahorro por control de iluminación.

El aprovechamiento de la luz del día, así como los sensores de ocupación registran una disminución del consumo energético, cuyo porcentaje se estimará entre un 40% a 60% del consumo total con las luminarias propuestas.

- Nivel de luminancia mínimo según tipo de actividad.

Los dos recintos en análisis entran en la clasificación de oficinas, dado el tipo de actividad, para este caso la cantidad mínima del nivel de luminancia según la norma mexicana NOM-025-STPS-2008 corresponde a 300 lux en el plano de trabajo (0,8 m de altura).

Tabla 1. Descripción general de los locales en análisis.

LOCALES			
DATOS DE LOS LOCALES A ANALIZAR			
Nombre del local	Numeración del local	Área (m2)	Aplicación
IS/CS	1	536	Oficinas
Supply chain	2	540	Oficinas

- Densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA)

Es un indicador de eficiencia energética, corresponde a la cantidad de potencia eléctrica por metro cuadrado, según la norma mexicana La NOM-007-ENER-2004: Eficiencia energética en edificios no residenciales se establece como valor máximo: 14, para edificios de oficinas corporativas.

DPEA: Carga total conectada para alumbrado/Área total iluminada (W/m²)

Tipo de edificio DPEA	(W/m ²)
Oficinas	14

3. Análisis del sistema actual

Se tienen dos locales en análisis, donde se tiene una distinta distribución y tipos de luminarias.

- IS/CS (1)

Para el local denominado IS/CS numerado como local 1, las luminarias son de dos tipos, Lámparas fluorescentes T5 (3x54W) con balastro electrónico y bombillas fluorescentes en luminaria tipo campana. En las siguientes tablas se aprecia los detalles técnicos de las luminarias de este local

Tabla 2. Datos técnicos de luminaria tipo campana en local 1.

Datos a ingresar (lámpara-luminaria)	
Especificación lámpara	SYLVANIA Mini-Lynx Espiral
Especificación luminaria	Tipo campana
Temperatura de color (K)	6500
Potencia conjunto luminaria (W)	55
Flujo luminoso conjunto luminaria (Lm)	2772
Vida promedio (h)	6000
Eficiencia luminosa (Lm/W)	50
Cantidad de lámparas por luminaria	1
Total de lámparas	21
Cantidad de luminarias por local (total)	21
Local al que pertenece (número)	1
Horas de operación (anual)	3840
Tipo de balastro	Electrónico

Tabla 3. Datos técnicos de luminaria T5 3x54W en el local 1.

Datos a ingresar (lámpara-luminaria)	
Especificación lámpara	SYLVANIA F54WT5805FH0
Especificación luminaria	3x54W
Temperatura de color (K)	6500
Potencia nominal conjunto luminaria (W)	175
Flujo luminoso conjunto luminaria (Lm)	13200
Vida promedio (h)	24000
Eficiencia luminosa (Lm/W)	75
Cantidad de lámparas por luminaria	3
Total de lámparas	78
Cantidad de luminarias por local (total)	26
Local al que pertenece (número)	1
Horas de operación (anual)	3840
Tipo de balastro	Electrónico

- Supply chain (2)

Se designa como local 2, y el tipo de luminarias presentes en este local, son de Lámparas fluorescentes T5 3x54W con balastro electrónico. Se tiene un total de 39 luminarias.

Tabla 4. Datos técnicos de luminaria T5 3x54W en el local 2.

Datos a ingresar (lámpara-luminaria)	
Especificación lámpara	SYLVANIA F54WTS865FHO
Especificación luminaria	3x54W
Temperatura de color (K)	6050
Potencia conjunto luminaria (W)	175
Flujo luminoso conjunto luminaria (Lm)	13200
Vida promedio (h)	24000
Eficiencia luminosa (Lm/W)	75
Cantidad de lámparas por luminaria	3
Total de lámparas	117
Cantidad de luminarias por local (total)	39
Local al que pertenece (número)	2
Horas de operación (anual)	3840
Tipo de balastro	Electrónico

Con lo anterior es posible calcular la potencia instalada y la energía consumida por tipo de luminaria, presentado en la tabla 5.

Tabla 5. Potencia instalada y energía al año consumida según la cantidad y tipo de luminaria actual.

Tipo de luminaria	Potencia (W)	Cantidad	Horas de operación anuales	Potencia instalada (KW)	Energía al año (KWh)
SYLVANIA Mini-Lynx Espiral Tipo campana	55	21	3840	1,2	4435
SYLVANIA F54WTS 865FHO 3x54W	175	39	3840	6,8	26208
SYLVANIA F54WTS 865FHO 3x54W	175	26	3840	4,6	17472
TOTAL				12,5	48115

Ahora bien, se determina la cantidad de energía consumida y potencia instalada que se tiene por local, según la cantidad y tipo de luminarias que se tienen en cada recinto. Los resultados se muestran en la tabla 6.

5

Tabla 6. Potencia instalada y energía consumida al año por local en análisis.

Local	SYLVANIA Mini-Lynx Espiral Tipo campana		SYLVANIA F54WTS865FHO 3x54W		SYLVANIA F54WTS865FHO 3x54W		Potencia instalada por local (KW)	Energía al año (KWh/mes)
	Cantidad	Potencia instalada (KW)	Cantidad	Potencia instalada (KW)	Cantidad	Potencia instalada (KW)		
1	21	1	0	0	26	5	6	21907
2	0	0	39	7	0	0	7	26208

Al conocer la potencia instalada por local, se puede calcular el indicador de densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA) el cual, según norma, se permite un valor máximo de 14. Los resultados se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Indicador DPEA para la instalación actual.

Local	Potencia instalada (W)	Área (m2)	DPEI	DPEA PROMEDIO	DPEA NORMA
1	5705	536	10,6	11,6	14
2	6825	540	12,6		

6

4. Análisis del sistema propuesto.

La propuesta contempla un cambio de luminarias a una tecnología más eficiente (acción pasiva), así como un control de iluminación (acción activa).

El ahorro estimado por la acción activa, debido a estrategias de control de iluminación desde el aprovechamiento de luz natural hasta sensores de ocupación, provoca un ahorro del 40%-60%, en energía aplicado propiamente al consumo energético obtenido al aplicar la acción pasiva. Se hace una estimación del ahorro promedio, establecido en un 50%, por lo que se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 8. Potencia instalada y energía al año consumida según la cantidad y tipo de luminaria propuesta.

Tipo de luminaria	Potencia (W)	Cantidad	Horas de operación anuales	Potencia instalada (KW)	Ahorro por control de iluminación	Energía al año (KWh)
NORA LIGHTING NPD-E24/40A Emergencia	59,5	15	3840	0,9	50%	1714
NORA LIGHTING NPD-E24/40A Emergencia	59,5	10	3840	0,6		1142
NORA LIGHTING NPD-E24/40A	59,5	25	3840	1,5		2856
NORA LIGHTING NPD-E24/40A	59,5	29	3840	1,7		3313
TOTAL				4,7	-	9025

Se realiza el análisis por local, para obtener el consumo energético de cada uno, dado el control en iluminación. La tabla 9 indica el consumo anual de energía.

Tabla 9. Potencia instalada y energía consumida al año por local en análisis.

Local	NORA LIGHTING NPD-E24/40A Emergencia		NORA LIGHTING NPD-E24/40A Emergencia		NORA LIGHTING NPD-E24/40A		NORA LIGHTING NPD-E24/40A		Potencia instalada por local (KW)	Ahorro por control de iluminación	Energía al año (KWh)
	Cantidad	Potencia instalada (KW)	Cantidad	Potencia instalada (KW)	Cantidad	Potencia instalada (KW)	Cantidad	Potencia instalada (KW)			
1	15	0,9	0	0,0	25	1,5	0	0,0	2,4	50%	4570
2	0	0,0	10	0,6	0	0,0	29	1,7	2,3		4455

7

Se procede a calcular el indicador DPEA, y se observa una reducción significativa, de esta manera se optimiza la potencia instalada por local.

Tabla 10. Indicador DPEA para la instalación propuesta.

Local	Potencia instalada (W)	Área (m2)	DPEI	DPEA Promedio	DPEA NORMA
1	2380,0	536	4,4	4,4	14
2	2320,5	540	4,3		

8

5. Análisis comparativo

Realizado el estudio de los dos escenarios, se puede hacer un análisis comparativo, que contraste los resultados obtenidos, facilitado mediante herramientas gráficas de análisis.

• Potencia instalada

Como primer aspecto a considerar, está la disminución de potencia instalada, esto logra reducir los picos de demanda máxima que pone en cobro la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, considerando que para bloques mayores a 8kW, la compañía establece un costo de 9 928 colones para cada kW adicional.

La gráfica 1, representa detalladamente esta disminución por local en análisis.

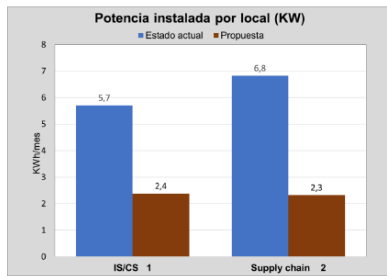


Gráfico 1. Comparación de la potencia instalada por local.

• RESULTADOS OBTENIDOS EN UN PERIODO MENSUAL.

Tabla 11. Ahorros mensuales obtenidos en energía y demanda

Local	Ahorro potencia instalada (KW)	Ahorro mensual por demanda (€/mes)	Consumo de energía mensual (KWh/mes)		Ahorro (KWh/mes)	Costo mensual (€/mes)		Ahorro mensual por energía (€/mes)	Ahorro total mensual (€/mes)	DPEA (W/m ²)	
			Actual	Propuesta		Actual	Propuesta			Actual	Propuesta
IS/CS	3,3	€33.239	1825,6	360,8	1445	€116.838	€24.371	€92.467	€125.707	10,6	4,4
Supply chain	4,5	€45.031	2184,0	371,3	1813	€139.776	€23.762	€116.014	€161.045	12,6	4,3
TOTAL	7,8	€78.270	4009,6	752,1	3257,5	€256.614	€48.133	€208.481	€286.751	-	-

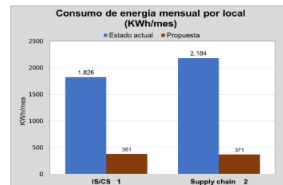


Gráfico 2. Comparación del consumo de energía mensual por local.

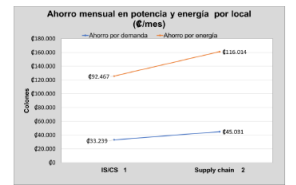


Gráfico 3. Ahorro mensual en demanda y energía por local.

• RESULTADOS OBTENIDOS EN UN PERIODO ANUAL.

Tabla 12. Ahorros mensuales obtenidos en energía y demanda

Local	Consumo de energía anual (KWh/año)		Ahorro anual por energía (€/año)	Costo anual por energía (€/a)		Ahorro en demanda (€/año)	Ahorro en energía (€/año)	Ahorro total anual (€/año)
	Actual	Propuesta		Actual	Propuesta			
IS/CS	21907,2	4569,6	17338	€1.402.061	€292.454	€1.109.606	€388.873	€1.508.479
Supply chain	26208,0	4455,4	21753	€1.677.312	€285.143	€1.392.169	€40.368	€1.932.537
TOTAL	48115,2	9025,0	39090,2	€3.079.373	€577.597	€2.501.775	€939.240	€3.441.016

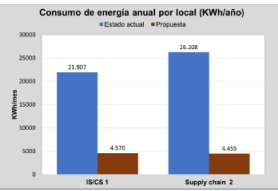


Gráfico 3. Comparación del consumo de energía anual por local.



Gráfico 4. Ahorro mensual en demanda y energía por local.

• EFICIENCIA LUMINOSA

Aspecto importante que tomar en cuenta para proyectos de iluminación. Para las luminarias seleccionadas se grafica la eficiencia luminosa versus la vida útil, obteniendo como mejor resultado, las luminarias propuestas (Ver gráfico 6) donde se alcanza una mayor eficiencia luminosa en un mayor periodo de vida útil.

Tabla 13. Eficiencia luminosa y vida útil de las luminarias fluorescentes.

Luminarias actuales	Eficiencia luminosa (Lm/W)	Vida útil (Horas)
SYLVANIA Mini-Lynx Espiral Tipo campana	50	6000
SYLVANIA F54WT5865FHO 3x54W	75	24000
SYLVANIA F54WT5865FHO 3x54W	75	24000

Tabla 14. Eficiencia luminosa y vida útil de las luminarias LED propuestas.

Luminarias propuestas	Eficiencia luminosa (Lm/W)	Vida útil (Horas)
NORA LIGHTING NPD-E24/40A Emergencia	89	50000
NORA LIGHTING NPD-E24/40A Emergencia	89	50000
NORA LIGHTING NPD-E24/40A	89	50000
NORA LIGHTING NPD-E24/40A	89	50000

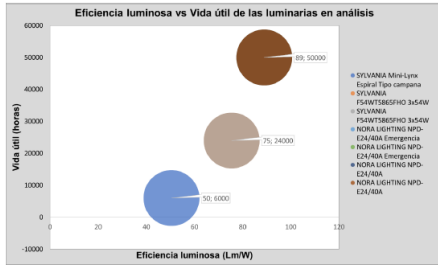


Gráfico 6. Eficiencia luminosa vs vida útil de las luminarias en análisis

• RESUMEN COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS.

Tabla 15. Resumen comparativo de los ahorros obtenidos con la propuesta.

Potencia instalada (KW)		Ahorro potencia instalada (KW)	Energía al año (KWh)		Ahorro anual energía (KWh/año)	Ahorro anual (€/año)	DPEA promedio (W/m²)	
Actual	Propuesta		Actual	Propuesta			Actual	Propuesto
12,5	4,7	7,8	48 115	9 025	39 090	€3.441.016	11,6	4,4

6. Análisis ambiental.

Un aspecto para reducir el impacto ambiental es considerar la eficiencia y el tiempo de vida. A pesar de tener una buena eficiencia, la lámpara fluorescente, en comparación con la lámpara tipo LED, posee un tiempo de vida relativamente bajo, cerca 6 veces más vida útil para una lámpara LED, según sean la cantidad de horas de uso, se deban de hacer reiterados cambios de la lámpara al ya haber cumplido su vida útil y como consecuencia de ello, el desecho de la misma.

El problema está en la forma en cómo se desechen, ya que un incorrecto procedimiento puede ocasionar un impacto negativo en el ambiente, esto por los materiales contaminantes que algunos tipos de luminarias poseen, como lo es el mercurio, siendo este un material tóxico. Y es que, no sólo se tienen implicancias a nivel ambiental, también a nivel de salud del personal, ya que, por ejemplo, la ruptura de los tubos fluorescentes puede causar que personas inhalen el mercurio en estado de vapor, y ocasionen malestares físicos por intoxicación con metales pesados.

Reducción de emisiones

Se tiene una cantidad de 30 065 KWh/año ahorrados, lo cual, si eventualmente la energía se produjera mediante fuentes no renovables, como los combustibles fósiles, se estaría dejando de liberar a la atmósfera 21 toneladas de CO₂ al año. Y sus emisiones equivalentes, descrito en la siguiente tabla.

Tabla 16. Calculadora ambiental de los KWh ahorrados al año.

Cantidad de KWh ahorrados anualmente	39090	kWh/año
--------------------------------------	-------	---------

Reporte de emisiones anuales		
Emisiones relacionadas con electricidad	27	Toneladas métricas de CO ₂
Emisiones equivalentes a:		
Barriles de petróleo quemados	62	Barriles/año
Autos en carretera	5	Autos/año
Galones de gas consumidos	3.025	Galones/año
Hectáreas de árboles cortados	6	Hectáreas/año

Fuente: www.profitablegreensolutions.com

7. Análisis financiero

Se realizó un estudio financiero por medio del VAN (Valor actual neto) para la inversión en cambio de luminarias. Para realizar este estudio se requiere realizar un flujo de caja, en este caso, en el año 0 se realiza la inversión y a partir del primer año es donde se espera que exista un ahorro y en base a esto se obtienen los resultados. Además de lo anterior se determina la TIR (tasa interna de retorno) para así compararlo con la TREMA, y en caso de ser mayor, el proyecto es rentable.

Para las condiciones dadas, se puede evidenciar la viabilidad que tiene la propuesta de cambio de luminarias en las tres áreas en estudio, ya que el VAN del proyecto es mayor a cero y de valor muy cercano a la inversión del mismo, la TIR supera con creces la TREMA y la recuperación de la inversión se daría a partir del cuarto año de operación, por lo que se justifica la compra y sustitución por lámparas LED, ya que los ahorros generados por consumo de energía al final del periodo de estudio sobrepasan el valor de la inversión y de la vida útil del equipo.

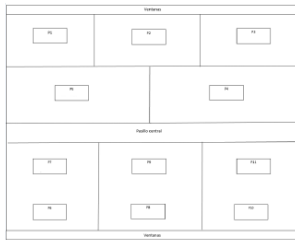
Tabla 17. Análisis financiero de la inversión.

Luminaria	NORA	NORA	NORA	NORA
-----------	------	------	------	------

	LIGHTING NPD-E24/40A Emergencia	LIGHTING NPD-E24/40A Emergencia	LIGHTING NPD-E24/40A	LIGHTING NPD-E24/40A
Costo unitario de luminaria	€203.000	€203.000	€103.000	€103.000
Inversión	€3.045.000	€2.030.000	€2.575.000	€2.987.000
TREMA	10%			
Ahorro mensual	€286.751			
Ahorro anual	€3.441.016			
VAN (Proyecto)	€10.506.551			
Recuperación de inversión	A partir del año 4			
TIR	30%			

8. Estudio del nivel de luminancia (Lux) mediante mediciones realizadas y software DIALux.

Se realizó un estudio del nivel de luminancia para los locales, en distintos puntos de estos, tanto para uso de los sensores, como para ver si se cumple los niveles mínimos requeridos para la actividad realizada en las áreas puestas en análisis. Es necesario aclarar que la cantidad de luxes dependerá de las condiciones climáticas, es decir, habrá una variación según el tipo de cielo presente; nublado, despejado, medio. La distribución de los puntos de medición se realizó de la siguiente manera.



18

• Mediciones con luxómetro para luminarias fluorescentes.

Local	Puntos de medición	Mediciones (Lux)			Promedio (lx)
		1	2	3	
IS/CS	P1	284	265	345	298
	P2	385	333	295	341
	P3	365	325	425	365
	P4	201	253	230	228
Supply chab	P5	564	556	560	560
	P6	565	5212	594	590
	P7	417	456	376	416
	P8	905	889	845	879
	P9	472	483	443	439
	P10	1172	1089	1022	1064
	P11	480	325	345	383

Equipo utilizado: Medidor ambiental Etech 45170
Hora: 12:45 am - 11:30 am



Local	Puntos de medición	Mediciones (lux)			Promedio (lx)
		1	2	3	
IS/CS	P1	275	270	400	348
	P2	219	200	240	246
	P3	366	333	330	366
	P4	200	225	189	205
Supply chab	P5	565	450	345	454
	P6	522	440	380	437
	P7	420	400	335	385
	P8	881	844	800	875
	P9	435	440	380	419
	P10	760	700	720	727
	P11	420	450	450	455

Equipo utilizado: Medidor ambiental Etech 45170
Hora: 3:30 pm - 3:45 pm



Local	Puntos de medición	Mediciones (lux)			Promedio (lx)
		1	2	3	
IS/CS	P1	287	348	238	291
	P2	189	196	200	195
	P3	260	225	230	242
	P4	186	245	239	223
Supply chab	P5	325	385	500	483
	P6	300	340	480	373
	P7	270	350	380	320
	P8	380	300	320	327
	P9	400	430	415	415
	P10	610	640	700	650
	P11	300	315	320	312

Equipo utilizado: Medidor ambiental Etech 45170
Hora: 5:30 pm - 5:45 pm



Local	Puntos de medición	Mediciones (Lux)			Promedio (lx)
		1	2	3	
IS/CS	P1	633	488	688	636
	P2	489	436	528	484
	P3	520	551	521	568
	P4	485	490	470	483
Supply chab	P5	492	462	508	517
	P6	551	600	695	615
	P7	389	390	358	396
	P8	681	660	635	678
	P9	295	320	385	300
	P10	574	1138	1600	1222
	P11	382	320	390	367

Equipo utilizado: Medidor ambiental Etech 45170
Hora: 10:45 am - 11:00 am



Local	Puntos de medición	Mediciones (lux)			Promedio (lx)
		1	2	3	
IS/CS	P1	810	460	838	499
	P2	498	480	480	476
	P3	605	490	630	575
	P4	590	550	510	560
Supply chab	P5	600	600	600	600
	P6	1141	1030	780	984
	P7	390	420	390	395
	P8	480	503	477	487
	P9	298	320	341	326
	P10	1128	934	820	993
	P11	430	480	490	465

Equipo utilizado: Medidor ambiental Etech 45170
Hora: 3:30 pm - 3:45 pm



Local	Puntos de medición	Mediciones (lux)			Promedio (lx)
		1	2	3	
IS/CS	P1	183	184	152	180
	P2	341	350	330	341
	P3	490	438	444	454
	P4	551	510	540	538
Supply chab	P5	515	514	505	511
	P6	345	317	380	365
	P7	340	300	318	319
	P8	323	332	316	324
	P9	306	344	308	319
	P10	430	430	432	450
	P11	391	479	442	449

Equipo utilizado: Medidor ambiental Etech 45170
Hora: 6:30 pm - 6:45 pm



20

• Software DIALux

Se simuló en software de iluminación DIALux, para lograr obtener una amplia gama de resultados, referente al nivel de luminosidad, de esta manera se renderiza los locales en estudio los más similar al caso real, y se simula a fin de obtener la cantidad de Lux de acuerdo con una escena de luz escogida, es decir, se simula un cielo despejado, medio, o cubierto, y a la hora deseada. Información adicional de interés cuando sea requerido.



Figura 1. Representación del local 1: IS/CS en software DIALux.

21

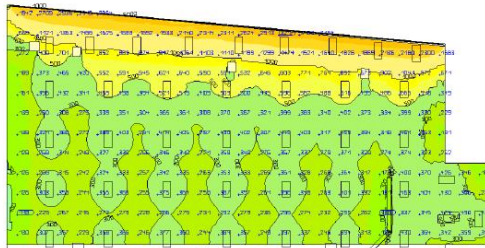


Figura 2. Cantidad de Lux en distribuidos puntos de análisis del local: IS/CS



Figura 3. Representación del local 2: Supply chain en software DIALux.

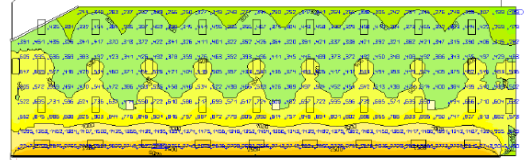


Figura 4. Cantidad de Lux en distribuidos puntos de análisis del local: Supply chain.

Apéndice 13. Comparación energética por recinto.

Número de piso	Código	Descripción	Área (m2)	Área (ft2)	Carga térmica calculada (BTU/h)	Carga térmica calculada x ft2 (BTU/h/ft2)	Carga térmica total instalada (BTU/h)	Carga instalada x ft2 (BTU/h/ft2)	Indicador Oficinas	CFM suministrado
Piso B1	B1-A12	Meeting room	28,44	306	10523	34	13733	45	60	457,8
	B1-B9	Meeting room	41,35	445	13562	30	13733	31	60	457,8
	Innovation room	0	68,25	735	17515	24	72450	99	60	2415,0
	B1-K1	Huddle room	9,2	99	5774	58	9429	95	60	314,3
	B1-K2	Huddle room	9,45	102	5206	51	9429	93	60	314,3
	B1-K3	Huddle room	6,22	67	2348	35	9429	141	60	314,3
	B1-K4	Huddle room	9,07	98	4596	47	9429	97	60	314,3
	B1-G10	Huddle room	5,38	58	2958	51	14100	243	60	470,0
	B1-E10	Huddle room	5,38	58	4596	79	14100	243	60	470,0
	B1-D10	Huddle room	5,38	58	4404	76	14100	243	60	470,0
	Sala de cubículos	0	416,19	4480	186583	42	225886	50	60	7529,5
	B1-L8	Training room	92,43	995	33772	34	44000	44	60	1466,7
	B1-K8	VCR	20,19	217	9011	41	5500	25	60	183,3
	B1-K9	Storage room	10,44	112	1830	16	5500	49	60	183,3
	Cuarto caliente	0	20	215	32292	150	11000	51	60	366,7
Lobby-cafetería	0	87	936	9712	10	33000	35	60	1100,0	

	Pasillo	0	74,46	801	7143	9	46733	58	60	1557,8
Piso B2	B2-E1	Huddle room	7,66	82	4483	54	8000	97	60	266,7
	B2-F1	Huddle room	5,4	58	4848	83	8000	138	60	266,7
	B2-G1	Huddle room	5,3	57	4238	74	8000	140	60	266,7
	B2-H1	Huddle room	7,83	84	4699	56	8000	95	60	266,7
	B2-E3	Huddle room	10,56	114	4596	40	8000	70	60	266,7
	B2-H3	Huddle room	10,5	113	4596	41	8000	71	60	266,7
	B2-H4	Huddle room	8,62	93	4596	50	11200	121	60	373,3
	B2-E6	Huddle room	8,5	91	4596	50	11200	122	60	373,3
	B2-H6	Huddle room	8,5	91	4596	50	11200	122	60	373,3
	B2-E7	Huddle room	9,57	103	4596	45	11200	109	60	373,3
	B2-H7	Huddle room	9,57	103	6426	62	11200	109	60	373,3
	B2-E8	Huddle room	5,63	61	2348	39	11000	182	60	366,7
	B2-H8	Huddle room	5,63	61	2348	39	11000	182	60	366,7
	B2-E9	Huddle room	6,11	66	2958	45	11000	167	60	366,7
	B2-H9	Huddle room	6,11	66	2958	45	11000	167	60	366,7
	B2-E15	Huddle room	7,94	85	2348	27	11000	129	60	366,7
	B2-K13	Meeting room	20,6	222	15815	71	15600	70	60	520,0
B2-M13	conference room	46,24	498	26478	53	31200	63	60	1040,0	

	B2-A8	Huddle room	4,26	46	2858	62	9386	205	60	312,9
	B2-A9	Huddle room	6,18	67	2248	34	9386	141	60	312,9
	B2-R8	Huddle room	6,14	66	2858	43	8800	133	60	293,3
	B2-R9	Huddle room	6,14	66	3468	52	8800	133	60	293,3
	Lobby	0	52,34	563	4955	9	60000	106	60	2000,0
	Sala de cubículos	0	735,43	7916	299393	38	310543	39	60	10351,4
	Huddle lobby	0	12,95	139	5724	41	30000	215	60	1000,0
	Pantry	0	15,73	169	3314	20	9386	55	60	312,9
Piso B3	B3-E1	Huddle room	8,01	86	4727	55	8000	93	60	266,7
	B3-F1	Huddle room	5,39	58	3932	68	8000	138	60	266,7
	B3-G1	Huddle room	5,39	58	4542	78	8000	138	60	266,7
	B3-H1	Huddle room	7,96	86	4941	58	8000	93	60	266,7
	B3-E3	Huddle room	10,84	117	6524	56	8000	69	60	266,7
	B3-H3	Huddle room	10,84	117	8354	72	8000	69	60	266,7
	B3-H4	Huddle room	8,84	95	5304	56	11000	116	60	366,7
	B3-E6	Huddle room	8,46	91	5914	65	11000	121	60	366,7
	B3-H6	Huddle room	8,59	92	5304	57	11000	119	60	366,7
	B3-E7	Huddle room	9,89	106	5304	50	11000	103	60	366,7
	B3-H7	Huddle room	9,95	107	6524	61	11000	103	60	366,7

	B3-E8	Huddle room	6,11	66	3262	50	10600	161	60	353,3
	B3-H8	Huddle room	6,11	66	3262	50	10600	161	60	353,3
	B3-E9	Huddle room	5,98	64	3872	60	10600	165	60	353,3
	B3-H9	Huddle room	5,98	64	3872	60	10600	165	60	353,3
	B3-F14	Huddle room	9,15	98	3872	39	11000	112	60	366,7
	B3-K13	Meeting room	20,25	218	19083	88	13371	61	60	445,7
	B3-M13	Conference room	46,88	505	32547	65	26743	53	60	891,4
	B3-A6	Huddle room	5,76	62	3262	53	10950	177	60	365,0
	B3-A7	Huddle room	5,75	62	3262	53	10950	177	60	365,0
	B3-G5	Huddle room	5,52	59	3872	65	7543	127	60	251,4
	B3-G6	Huddle room	5,65	61	3872	64	7543	124	60	251,4
	Lobby	0	52,34	563	4955	9	61600	109	60	2053,3
	Sala de cubículos	0	737,63	7940	267104	34	308329	39	60	10277,6
	Huddle lobby	0	12,95	139	7346	53	30800	221	60	1026,7
Pantry	0	15,70	169	3314	20	18543	110	60	618,1	
Piso B4	B4-N14	VCR	45,36	488	25352	52	31200	64	60	1040,0
	B4-M14	Conference room	21,55	232	13867	60	7800	34	60	260,0
	B4-G11	Conference room	51,99	560	21782	39	40000	71	60	1333,3
	B4-K9	Huddle room	9,70	104	7693	74	10000	96	60	333,3

	B4-G7	Conference room	20,22	218	11166	51	30000	138	60	1000,0
	B4-K4	Huddle room	10,87	117	7124	61	11000	94	60	366,7
	B4-L1	Huddle room	7,70	83	5569	67	11000	133	60	366,7
	B4-K1	Huddle room	5,04	54	4914	91	11000	203	60	366,7
	B4-G1	Huddle room	5,12	55	4931	89	11000	200	60	366,7
	B4-F1	Huddle room	7,77	84	5997	72	11000	131	60	366,7
	B4-G4	Huddle room	10,87	117	4972	42	11000	94	60	366,7
	B4-G9	Huddle room	9,70	104	6151	59	10000	96	60	333,3
	B4-A14	Training room	67,56	727	46543	64	35314	49	60	1177,1
	B4-E12	Huddle room	6,04	65	4193	64	8829	136	60	294,3
	B4-C12	Huddle room	6,04	65	3583	55	8829	136	60	294,3
	B4-A12	Huddle room	5,90	64	3578	56	8829	139	60	294,3
	Sala de cubiculos	0	554,15	5965	299353	50	276900	46	60	9230,0
	Huddle lobby	0	12,95	139	7519	54	30800	221	60	1026,7
	Lobby	0	52,34	563	6467	11	61600	109	60	2053,3
	Pantry	0	15,88	171	3709	22	30000	176	60	1000,0

Anexos

Anexo 1. Coeficiente general de transferencia de calor: Paredes

Grupo No.	Descripción de la construcción	Peso, lb/ft ²	Valor de U, $\frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}$
Ladrillo de vista de 4 in + (Ladrillo)			
C	Espacio de aire + ladrillo de vista de 3 in	83	0.358
D	Ladrillo común de 4 in	90	0.415
C	Aislamiento de 1 in o espacio de aire + ladrillo común de 4 in	90	0.174-0.301
B	Aislamiento de 2 in + ladrillo común de 4 in	88	0.111
B	Ladrillo común de 8 in	130	0.302
A	Aislamiento o espacio de aire + ladrillo común de 8 in	130	0.154-0.243
Ladrillo de vista de 4 in + (Concreto pesado)			
C	Espacio de aire + concreto de 2 in	94	0.350
B	Aislamiento de 2 in + concreto de 4 in	97	0.116
A	Espacio de aire o aislamiento + concreto de 8 in o más	143-190	0.110-0.112
Ladrillo de vista de 4 in + (bloque de concreto ligero o pesado)			
E	Bloque de 4 in	62	0.319
D	Espacio de aire o aislamiento + bloque de 4 in	62	0.153-0.246
D	Bloque de 8 in	70	0.274
C	Espacio de aire o aislamiento de 1 in + bloque de 6 u 8 in	73-89	0.221-0.275
B	Aislamiento de 2 in + bloque de 8 in	89	0.096-0.107
Ladrillo de vista de 4 in + (azulejo de barro)			
D	Azulejo de 4 in	71	0.381
D	Espacio de aire + azulejo de 4 in	71	0.281
C	Aislamiento + azulejo de 4 in	71	0.169
C	Azulejo de 8 in	96	0.275
B	Espacio de aire o aislamiento de 1 in + azulejo de 8 in	96	0.142-0.221
A	Aislamiento de 2 in + azulejo de 8 in	97	0.097
Pared de concreto pesado + (acabado)			
E	Concreto de 4 in	63	0.585
D	Concreto de 4 in + aislamiento de 1 o 2 in	63	0.119-0.200
C	Aislamiento de 2 in + concreto de 4 in	63	0.119
C	Concreto de 8 in	109	0.490
B	concreto de 8 in + aislamiento de 1 o 2 in	110	0.115-0.187
A	Aislamiento de 2 in + concreto de 8 in	110	0.115
E	Concreto de 12 in	156	0.421
A	Concreto de 12 in + aislamiento	156	0.113
Bloque de concreto ligero y pesado + (acabado)			
F	Bloque de 4 in + espacio de aire o aislamiento	29-36	0.161-0.263
E	Aislamiento de 2 in + bloque de 4 in	29-37	0.105-0.114
E	Bloque de 8 in	41-57	0.294-0.402
D	Concreto de 8 in + espacio de aire o aislamiento	41-57	0.149-0.173

Anexo 2. Coeficiente general de transferencia de calor: Techo

Techo No.	Descripción de la construcción	Area Piso, Hft ²	Valor de U, BTU/h ft ² °F
1.	Láminas de metal con aislamiento de 1 o 2 in	7 (8)	0.213 (0.134)
2.	Madera de 1 in con aislamiento de 1 in	1	0.176
3.	Concreto ligero de 4 in	18	0.213
4.	Concreto pesado de 1 a 3 in con aislamiento de 2 in	20	0.206 (0.131)
5.	Madera de 1 in con aislamiento de 2 in	19	0.101
6.	Concreto ligero de 6 in	24	0.151
7.	Madera de 2.5 in con aislamiento de 1 in	13	0.136
8.	Concreto ligero de 8 in	21	0.134
9.	Concreto pesado de 4 in con aislamiento de 1 o 2 in	52 (52)	0.206 (0.131)
10.	Madera de 2.5 in con aislamiento de 2 in	13	0.081
11.	Sistema de terrazas de techo	75	0.106
12.	Concreto pesado de 6 in con aislamiento de 1 o 2 in	75 (75)	0.101 (0.117)
13.	Madera de 4 in con aislamiento de 1 o 2 in	17 (18)	0.106 (0.071)

Anexo 2. Diferencias de temperatura para cargas de enfriamiento (DTCE).

- Paredes

Latitud norte, orientación de pared	Hora solar, h																								Hora de la DTCE máxima	DTCE mínima	DTCE máxima	Diferencia de DTCE	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24					
Paredes grupo A																													
N	14	14	14	13	13	13	12	12	11	11	10	10	10	10	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14	2	10	14	4	
NE	19	19	19	18	17	17	16	15	15	15	15	15	16	16	17	18	18	18	19	19	20	20	20	20	22	15	20	5	
E	24	24	23	23	23	21	20	19	19	18	19	19	20	20	21	23	23	24	24	25	25	25	25	25	22	18	25	7	
SE	24	23	23	22	21	20	20	19	18	18	18	18	19	20	21	22	23	23	24	24	24	24	24	23	18	24	6		
S	20	20	19	19	18	18	17	16	16	15	14	14	14	14	15	16	17	18	19	19	20	20	20	23	14	20	6		
SW	25	25	25	24	24	23	22	21	20	19	19	19	19	17	17	18	19	20	22	23	24	25	25	24	17	25	8		
W	27	27	26	26	25	24	24	23	22	21	20	19	18	18	18	18	18	19	20	22	23	25	26	26	1	18	27	9	
NW	21	21	21	20	20	19	18	17	16	16	15	15	14	14	14	15	16	17	18	19	20	21	21	1	14	21	7		
Paredes grupo B																													
N	15	14	14	13	12	11	11	10	9	9	8	8	8	9	9	10	11	12	13	14	14	15	15	24	8	15	7		
NE	19	18	17	16	15	14	13	12	12	13	13	14	15	16	17	18	19	19	20	20	21	21	21	20	21	13	21	9	
E	23	22	21	20	18	17	16	15	15	15	17	19	21	20	20	24	25	26	26	27	27	28	28	28	20	15	27	12	
SE	25	22	21	20	18	17	16	15	14	14	15	16	18	20	21	23	24	25	26	26	26	26	25	24	11	14	26	12	
S	20	20	19	18	17	15	14	13	12	11	11	11	11	12	14	15	17	19	20	21	22	22	22	23	23	11	22	11	
SW	27	26	25	24	22	21	19	18	16	15	14	14	13	13	13	14	15	17	20	22	25	27	28	28	24	13	28	15	
W	29	28	27	26	24	23	21	19	18	17	16	15	14	14	14	15	17	19	22	25	27	29	30	30	24	14	30	16	
NW	23	22	21	20	19	18	17	15	14	13	12	12	12	11	12	12	13	15	17	19	21	22	23	23	24	11	23	12	
Paredes grupo C																													
N	15	14	13	12	11	10	9	8	8	7	7	8	8	8	10	12	13	14	15	16	17	17	17	22	7	17	10		
NE	19	17	16	14	13	11	10	10	11	11	13	15	17	19	21	22	22	23	23	23	23	22	21	20	20	10	23	13	
E	22	21	19	17	15	14	12	12	12	12	13	16	19	22	25	29	30	30	30	30	29	28	27	26	18	12	30	18	
SE	22	21	19	17	15	14	12	12	12	13	16	19	22	25	29	30	30	30	29	29	29	28	27	26	19	12	29	17	
S	20	19	18	16	15	15	12	10	9	9	9	10	11	11	12	17	20	22	24	25	26	25	24	22	20	9	26	17	
SW	29	27	25	22	20	18	16	15	15	12	11	11	11	11	12	15	18	22	26	29	32	33	33	32	22	11	33	22	
W	31	29	27	25	22	20	18	16	14	13	12	12	13	13	14	16	20	24	29	32	35	35	35	35	22	12	35	23	
NW	25	23	21	20	18	16	14	13	11	10	10	10	10	10	11	12	13	15	18	22	25	27	27	27	22	10	27	17	
Paredes grupo D																													
N	15	13	12	10	9	7	6	6	6	6	6	6	7	8	10	12	13	15	17	18	19	19	19	21	6	19	13		
NE	17	15	13	11	10	8	7	8	10	14	17	20	22	23	23	24	24	25	25	24	23	22	20	18	19	7	25	18	
E	20	17	15	13	11	9	8	9	12	17	22	27	30	30	33	33	32	32	31	30	28	26	24	22	18	8	33	25	
SE	20	17	15	13	11	10	8	8	10	13	17	22	26	26	31	32	33	33	31	30	28	26	24	22	17	8	32	26	
S	19	17	15	13	11	9	8	7	6	6	7	9	12	16	20	24	27	29	29	29	27	26	24	22	19	6	39	23	
SW	28	25	22	19	16	14	12	10	9	8	8	8	10	12	16	21	27	32	36	38	37	34	31	29	21	8	38	30	
W	31	27	24	21	18	15	13	11	10	9	9	9	10	11	14	18	24	30	36	40	41	40	38	34	23	9	41	32	
NW	25	22	19	17	14	12	10	9	8	7	7	8	9	10	12	14	18	22	27	31	32	32	30	27	22	7	32	25	
Paredes grupo E																													
N	12	10	8	7	5	4	3	4	5	6	7	9	11	15	17	19	20	21	23	20	18	16	14	20	3	22	19		
NE	13	11	9	7	6	4	3	4	5	9	15	20	24	25	25	26	26	26	25	24	22	19	17	15	16	4	26	22	
E	14	12	10	8	6	5	5	6	11	18	26	33	36	38	39	36	34	33	32	30	28	25	22	20	13	5	38	33	
SE	15	12	10	8	7	5	5	6	12	19	25	31	35	37	37	36	34	33	31	28	26	23	20	17	15	5	37	32	
S	15	12	10	8	7	5	4	3	4	5	6	9	15	19	24	29	32	34	35	31	29	26	23	20	17	17	5	34	31
SW	22	18	15	12	10	8	6	5	5	6	7	9	12	18	24	32	38	43	45	44	40	35	30	26	19	5	45	40	
W	26	21	17	14	11	9	7	6	6	7	9	11	16	20	27	35	43	49	49	45	40	34	28	23	20	6	49	43	
NW	20	17	14	11	9	7	6	5	5	5	6	8	10	13	16	20	26	32	37	38	36	32	28	24	20	5	38	33	
Paredes grupo F																													
N	8	6	5	3	2	1	3	4	6	7	9	11	14	17	19	21	22	23	24	23	20	16	13	11	19	1	24	23	
NE	9	7	5	3	2	1	5	14	23	28	30	29	28	27	27	27	26	24	22	19	16	13	11	11	1	1	30	29	
E	10	7	6	4	3	2	6	17	28	34	44	45	43	39	36	34	32	30	27	24	21	17	15	12	12	2	45	43	
SE	10	7	6	4	3	2	4	19	28	36	41	43	42	39	36	34	31	28	25	21	18	15	12	13	2	43	41		
S	10	8	6	4	3	2	1	5	7	13	20	27	34	38	39	38	35	31	26	22	18	15	12	16	1	39	38		
SW	15	11	9	6	5	3	3	4	5	8	11	17	26	35	44	50	53	52	45	37	28	23	18	18	2	53	51		
W	17	13	10	7	5	4	3	3	4	6	8	11	14	20	28	39	49	57	60	54	43	34	27	21	19	3	60	57	
NW	14	10	8	6	4	3	2	3	5	8	10	13	15	21	27	35	42	46	45	35	28	22	18	19	2	46	44		

- Techos

Anexo 3. Corrección de DTCE por latitud y mes.

- Paredes y techos

Latitud	Mes	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	HORA
0	Dic	-3	-5	-5	-5	-2	-0	3	6	9	-1
	Ene/Nov	-3	-5	-4	-4	-1	-0	2	4	7	-1
	Feb/Oct	-3	-2	-2	-2	-1	-1	0	-1	0	0
	Mar/Sept	-3	0	1	-1	-1	-3	-3	-5	-8	-1
	Abr/Ago	5	4	3	0	-2	-5	-6	-8	-8	-2
	May/Jul	10	7	5	0	-3	-7	-8	-9	-8	-4
	Jun	12	9	5	0	-3	-7	-9	-10	-8	-5
8	Dic	-4	-6	-6	-6	-3	0	4	8	12	-5
	Ene/Nov	-3	-5	-6	-5	-2	0	3	6	10	-4
	Feb/Oct	-3	-4	-3	-3	-1	-1	1	2	4	-1
	Mar/Sept	-3	-2	-1	-1	-1	-2	-2	-3	-4	0
	Abr/Ago	2	2	2	0	-1	-4	-5	-7	-7	-1
	May/Jul	7	5	4	0	-2	-5	-7	-9	-7	-1
	Jun	9	6	4	0	-2	-6	-8	-9	-7	-1
16	Dic	-4	-6	-8	-8	-4	-1	4	9	13	-5
	Ene/Nov	-4	-6	-7	-7	-4	-1	4	8	12	-4
	Feb/Oct	-3	-5	-5	-4	-2	0	2	5	7	-1
	Mar/Sept	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	0	0	0
	Abr/Ago	-1	0	-1	-1	-1	-3	-3	-5	-6	0
	May/Jul	4	3	3	0	-1	-4	-5	-7	-7	0
	Jun	6	4	4	1	-1	-4	-6	-8	-7	0

Techo No.	Descripción de la construcción	Haza Pesa, lb/ft ²	Valor de U, BTU/h Ft ² °F	Hora solar, h																							
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Sin cielo raso suspendido																											
1.	Lámina de metal con aislamiento de 1 o 2 in	7 (8)	0.213 (0.124)	1	-2	-3	-3	-5	-3	6	19	34	49	61	71	78	79	77	70	59	45	30	18	12	8	5	3
2.	Madera de 1 in con aislamiento de 1 in	8	0.170	6	3	0	-1	-3	-3	-2	4	14	27	39	52	62	70	74	74	70	62	51	38	28	20	14	9
3.	Concreto ligero de 4 in	18	0.213	9	5	2	0	-2	-3	-3	1	9	20	32	44	55	64	70	73	71	66	57	45	34	25	18	13
4.	Concreto pesado de 1 a 2 in con aislamiento de 2 in	29	0.206 (0.122)	12	8	5	3	0	-1	-1	3	11	20	30	41	51	59	65	66	66	62	54	45	36	29	22	17
5.	Madera de 1 in con aislamiento de 2 in	19	0.109	5	0	-3	-4	-5	-7	-6	-3	5	16	27	39	49	57	63	64	62	57	48	37	26	18	11	7
6.	Concreto ligero de 6 in	24	0.158	22	17	13	9	6	3	1	1	3	7	15	23	33	43	51	58	62	64	62	57	50	42	35	28
7.	Madera de 2.5 in con aislamiento de 1 in	13	0.130	29	34	20	16	13	10	7	6	6	9	13	20	27	34	42	48	53	55	56	54	49	44	39	34
8.	Concreto ligero de 8 in	31	0.126	35	30	26	22	18	14	11	9	7	7	9	13	19	25	33	39	46	50	53	54	53	49	45	40
9.	Concreto pesado de 4 in con aislamiento de 1 o 2 in	52 (52)	0.200 (0.120)	25	22	18	15	12	9	8	8	10	14	20	26	33	40	46	50	53	53	52	48	43	38	34	30
10.	Madera de 2.5 in con aislamiento de 2 in	13	0.093	30	26	23	19	16	13	10	9	8	9	13	17	23	29	36	41	46	40	51	50	47	43	39	35
11.	Sistema de tirazas de techo	75	0.106	34	31	28	25	22	19	16	14	13	13	15	18	22	26	31	36	40	44	45	46	45	43	40	37
12.	Concreto pesado de 6 in con aislamiento de 1 o 2 in	75 (75)	0.192 (0.117)	31	28	25	22	20	17	15	14	14	16	18	22	26	31	36	40	43	45	45	44	42	40	37	34
13.	Madera de 4 in con aislamiento de 1 o 2 in	17 (18)	0.106 (0.078)	38	36	33	30	28	25	22	20	18	17	16	17	18	21	24	28	32	36	39	41	43	43	42	40

Anexo 4. Factor de ganancia máxima de calor para vidrios (FGCS).

0 Grados										
	NNE/ N	NE/ NNW	ENE/ NW	E/ WNW	ESE/ W	SE/ WSW	SEE/ SW	S	SSW	HOR
En.	34	34	88	177	234	254	235	182	118	296
Feb.	36	39	132	205	245	247	210	141	67	306
Mar.	38	87	170	223	242	223	170	87	38	303
Abr.	71	134	193	224	221	184	118	38	37	284
May	113	164	203	218	201	154	80	37	37	265
Jun.	129	173	206	212	191	140	66	37	37	255
Jul.	115	164	201	213	195	149	77	38	38	260
Agos.	75	134	187	216	212	175	112	39	38	276
Sept.	40	84	163	213	231	213	163	84	40	293
Oct.	37	40	129	199	236	238	202	135	66	299
Nov.	35	35	88	175	230	250	230	179	117	293
Dic.	34	34	71	164	226	253	240	196	138	288

8 Grados										
	NNE/ N	NE/ NNW	ENE/ NW	E/ WNW	ESE/ W	SE/ WSW	SEE/ SW	S	SSW	HOR
En.	32	32	71	163	224	250	242	203	162	275
Feb.	34	34	114	193	239	248	219	165	110	294
Mar.	37	67	156	215	241	230	184	110	55	300
Abr.	44	117	184	221	225	195	134	53	39	289
May	74	146	198	220	209	167	97	39	38	277
Jun.	90	155	200	217	200	141	82	39	39	269
Jul.	77	145	195	215	204	162	93	40	39	272
Agos.	47	117	179	214	216	186	128	51	41	282
Sept.	38	66	149	205	230	219	176	107	56	290
Oct.	35	35	112	187	231	239	211	169	108	288
Nov.	33	33	71	161	220	245	233	200	160	273
Dic.	31	31	55	149	215	246	247	215	179	265

16 Grados										
	NNE/ N	NE/ NNW	ENE/ NW	E/ WNW	ESE/ W	SE/ WSW	SEE/ SW	S	SSW	HOR
En.	30	30	55	147	21	244	251	223	199	248
Feb.	33	33	96	180	231	247	233	188	154	275
Mar.	35	53	140	205	239	235	197	138	93	291
Abr.	39	99	172	216	227	204	150	77	45	289
May	52	132	189	218	215	179	115	45	41	282
Jun.	66	142	194	217	207	167	99	41	41	277
Jul.	55	132	187	214	210	174	111	44	42	277
Agos.	41	100	168	209	219	196	143	74	46	282
Sept.	36	50	134	196	227	224	191	134	93	282
Oct.	33	33	95	174	223	237	225	183	150	270
Nov.	30	30	55	145	206	241	247	220	196	246
Dic.	29	29	41	132	198	241	254	233	212	234

24 Grados										
	NNE/ N	NE/ NNW	ENE/ NW	E/ WNW	ESE/ W	SE/ WSW	SEE/ SW	S	SSW	HOR
En.	27	27	41	128	190	240	253	241	227	214
Feb.	30	30	80	165	220	244	243	213	192	249
Mar.	34	45	124	195	234	237	214	168	137	275
Abr.	37	88	159	209	228	212	169	107	75	283
May	43	117	178	214	218	190	132	67	46	282
Jun.	55	127	184	214	212	179	117	55	43	279
Jul.	45	116	176	210	213	185	129	65	46	278
Agos.	38	87	156	203	220	204	162	103	72	277
Sept.	35	42	119	185	222	225	206	163	134	266
Oct.	31	31	79	159	211	237	235	207	187	244
Nov.	27	27	42	126	187	236	249	237	224	213
Dic.	26	26	29	112	180	234	247	247	237	199

Anexo 5. Factor de sombreado para vidrios.

	Tipo de vidrio	Espesor nominal de cada vidrio claro ^a	Transmisión solar ^b
VIDRIO SENCILLO	Sencillo	3/32 a 1/4	0.87-0.80
	Claro	1/4 a 1/2	0.80-0.71
	Claro	3/8	0.72
	Claro	1/2	0.67
	Claro con figuras	1/8 a 9/32	0.87-0.79
	Absorbente de calor, con figuras ^c	1/8	
	Absorbente de calor ^d	3/16 a 1/4	0.46
	Absorbente de calor, con figuras	3/16 a 1/4	
	Coloreado	1/8 a 7/32	0.59-0.45
	Absorbente de calor, o con figuras		0.44-0.30
	Absorbente de calor ^e	3/8	0.34
	Absorbente de calor, o con figuras	1/2	0.24
	Vidrio recubierto reflector		

Anexo 6. Factor de carga de enfriamiento para vidrios (FCE).

Latitud norte, Ventana viendo hacia él	Construc- ción del recinto	Hora solar, h																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	L	0.17	0.14	0.11	0.09	0.08	0.33	0.42	0.48	0.56	0.63	0.71	0.76	0.80	0.82	0.82	0.79	0.80	0.84	0.61	0.48	0.38	0.31	0.25	0.20
	M	0.23	0.20	0.18	0.16	0.14	0.34	0.41	0.46	0.52	0.59	0.65	0.70	0.73	0.73	0.76	0.74	0.73	0.79	0.61	0.50	0.42	0.36	0.31	0.27
	H	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19	0.38	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.69	0.72	0.73	0.72	0.70	0.70	0.74	0.57	0.46	0.39	0.34	0.31	0.28
NE	L	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.23	0.41	0.51	0.51	0.45	0.39	0.36	0.33	0.31	0.28	0.26	0.23	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.03
	M	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.21	0.36	0.44	0.45	0.40	0.36	0.33	0.31	0.30	0.28	0.26	0.23	0.21	0.17	0.15	0.13	0.11	0.09	0.08
	H	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.23	0.37	0.44	0.44	0.39	0.34	0.31	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.20	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10
E	L	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.19	0.37	0.51	0.57	0.57	0.51	0.42	0.36	0.32	0.25	0.25	0.22	0.19	0.14	0.12	0.09	0.08	0.06	0.03
	M	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.18	0.33	0.44	0.50	0.51	0.45	0.39	0.35	0.32	0.25	0.26	0.23	0.21	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.08
	H	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.21	0.34	0.45	0.50	0.49	0.42	0.36	0.32	0.29	0.26	0.24	0.22	0.19	0.17	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10
SE	L	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02	0.13	0.28	0.43	0.55	0.62	0.63	0.57	0.48	0.42	0.37	0.33	0.28	0.24	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07
	M	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.14	0.26	0.38	0.48	0.54	0.55	0.51	0.45	0.40	0.36	0.33	0.29	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10
	H	0.11	0.10	0.10	0.09	0.08	0.17	0.28	0.40	0.49	0.53	0.53	0.48	0.41	0.36	0.33	0.30	0.27	0.24	0.20	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12
S	L	0.08	0.07	0.05	0.04	0.04	0.06	0.09	0.14	0.22	0.34	0.48	0.59	0.65	0.65	0.59	0.50	0.43	0.36	0.28	0.22	0.18	0.15	0.12	0.10
	M	0.12	0.11	0.09	0.08	0.07	0.08	0.11	0.14	0.21	0.31	0.42	0.52	0.57	0.58	0.53	0.47	0.41	0.36	0.29	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14
	H	0.13	0.12	0.12	0.11	0.10	0.12	0.14	0.17	0.24	0.33	0.43	0.51	0.56	0.55	0.50	0.43	0.38	0.32	0.26	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15
SW	L	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.24	0.36	0.49	0.60	0.66	0.66	0.58	0.43	0.33	0.27	0.22	0.18	0.14
	M	0.13	0.13	0.12	0.10	0.09	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.23	0.33	0.44	0.53	0.58	0.59	0.53	0.41	0.33	0.28	0.24	0.21	0.18
	H	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.12	0.13	0.14	0.16	0.17	0.19	0.25	0.34	0.44	0.52	0.56	0.56	0.49	0.37	0.30	0.25	0.21	0.19	0.17
W	L	0.12	0.10	0.08	0.07	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.13	0.14	0.20	0.32	0.45	0.57	0.64	0.61	0.44	0.34	0.27	0.22	0.18	0.14
	M	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.19	0.29	0.40	0.50	0.56	0.55	0.41	0.33	0.27	0.23	0.20	0.17
	H	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.11	0.12	0.13	0.13	0.14	0.15	0.16	0.21	0.30	0.40	0.49	0.54	0.52	0.38	0.30	0.24	0.21	0.18	0.16
NW	L	0.11	0.09	0.08	0.06	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.19	0.23	0.33	0.47	0.59	0.60	0.43	0.33	0.26	0.21	0.17	0.14
	M	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.09	0.10	0.11	0.13	0.14	0.16	0.17	0.18	0.21	0.30	0.42	0.51	0.53	0.39	0.32	0.26	0.22	0.19	0.16
	H	0.14	0.12	0.11	0.11	0.10	0.11	0.12	0.13	0.13	0.16	0.18	0.19	0.19	0.22	0.30	0.41	0.50	0.51	0.36	0.29	0.23	0.20	0.17	0.15

Anexo 7. Tasa de ganancia de calor según actividad de ocupantes.

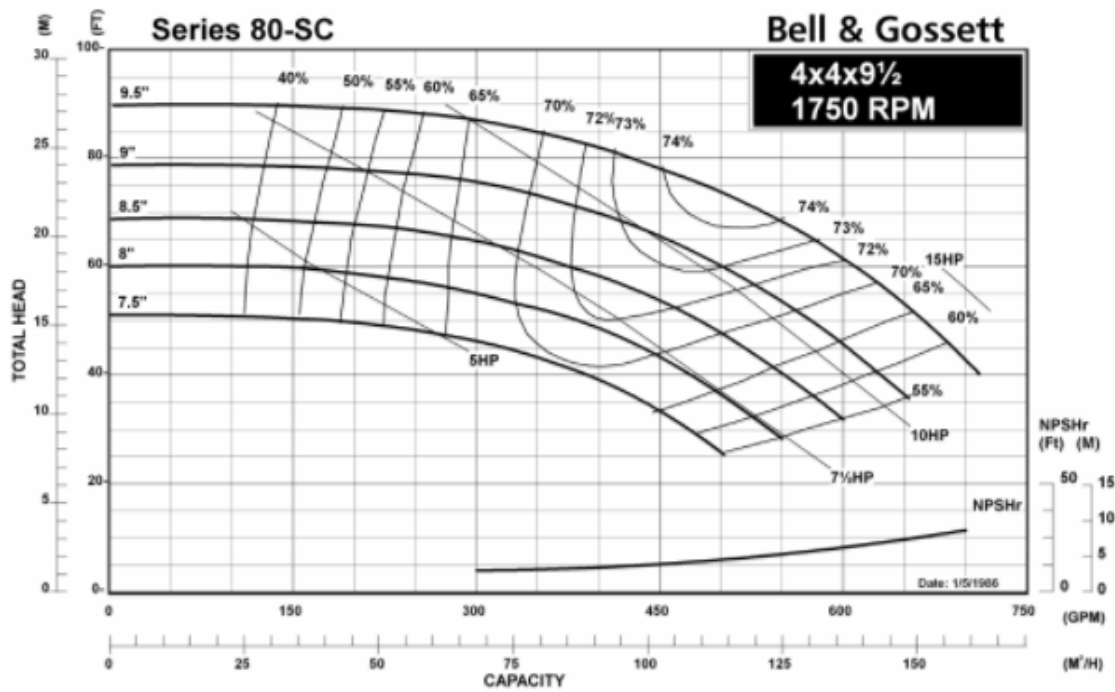
Degree of Activity	Location	Total Heat, Btu/h		Sensible Heat, Btu/h	Latent Heat, Btu/h	% Sensible Heat that is Radiant ^b	
		Adult Male	Adjusted, M/F ^a			Low V	High V
Seated at theater	Theater, matinee	390	330	225	105		
Seated at theater, night	Theater, night	390	350	245	105	60	27
Seated, very light work	Offices, hotels, apartments	450	400	245	155		
Moderately active office work	Offices, hotels, apartments	475	450	250	200		
Standing, light work; walking	Department store; retail store	550	450	250	200	58	38
Walking, standing	Drug store, bank	550	500	250	250		
Sedentary work	Restaurant ^c	490	550	275	275		
Light bench work	Factory	800	750	275	475		
Moderate dancing	Dance hall	900	850	305	545	49	35
Walking 3 mph; light machine work	Factory	1000	1000	375	625		
Bowling ^d	Bowling alley	1500	1450	580	870		
Heavy work	Factory	1500	1450	580	870	54	19
Heavy machine work; lifting	Factory	1600	1600	635	965		
Athletics	Gymnasium	2000	1800	710	1090		

Anexo 8. Ganancia de calor por equipos.

		Energy Rate, Btu/h	Rate of Heat Gain, Btu/h	
Equipment	Description		Nameplate Power Consumption, W	Average Power Consumption, W
Desktop computer ^a	Manufacturer A (model A); 2.8 GHz processor, 1 GB RAM		480	73
	Manufacturer A (model B); 2.6 GHz processor, 2 GB RAM		480	49
	Manufacturer B (model A); 3.0 GHz processor, 2 GB RAM		690	77
	Manufacturer B (model B); 3.0 GHz processor, 2 GB RAM		690	48
	Manufacturer A (model C); 2.3 GHz processor, 3 GB RAM		1200	97
Laptop computer ^b	Manufacturer 1; 2.0 GHz processor, 2 GB RAM, 17 in. screen		130	36
	Manufacturer 1; 1.8 GHz processor, 1 GB RAM, 17 in. screen		90	23
	Manufacturer 1; 2.0 GHz processor, 2 GB RAM, 14 in. screen		90	31
	Manufacturer 2; 2.13 GHz processor, 1 GB RAM, 14 in. screen, tablet PC		90	29
	Manufacturer 2; 366 MHz processor, 130 MB RAM, 14 in. screen)		70	22
Flat-panel monitor ^c	Manufacturer 3; 900 MHz processor, 256 MB RAM (10.5 in. screen)		50	12
	Manufacturer X (model A); 30 in. screen		383	90
	Manufacturer X (model B); 22 in. screen		360	36
	Manufacturer Y (model A); 19 in. screen		288	28
	Manufacturer Y (model B); 17 in. screen		240	27
	Manufacturer Z (model A); 17 in. screen		240	29
	Manufacturer Z (model C); 15 in. screen		240	19

Equipment	Description	Nameplate Power Consumption, W	Average Power Consumption, W
Laser printer, typical desktop, small-office type ^a	Printing speed up to 10 pages per minute	430	137
	Printing speed up to 35 pages per minute	890	74
	Printing speed up to 19 pages per minute	508	88
	Printing speed up to 17 pages per minute	508	98
	Printing speed up to 19 pages per minute	635	110
	Printing speed up to 24 page per minute	1344	130
Multifunction (copy, print, scan) ^b	Small, desktop type	600	30
	Medium, desktop type	40	15
Scanner ^b	Small, desktop type	700	135
	Large, multiuser, office type	19	16
Copy machine ^c		1750	800 (idle 260 W)
		1440	550 (idle 135 W)
		1850	1060 (idle 305 W)
Fax machine	Medium	936	90
	Small	40	20
Plotter	Manufacturer A	400	250
	Manufacturer B	456	140

Anexo 8. Curva características de las bombas de la planta de agua helada.



Anexo 9. Comportamiento del *chiller* enfriado por agua según porcentaje de carga.

Nonstandard Part-Load Value

Cond. Ent. Water Temp., °F	85.00	75.00	65.00	65.00
Percent of Full Load Capacity, %	100.00	75.00	50.00	25.00
Cooling Capacity, Tons	146.2	109.5	72.97	36.48
Input Power, kW	104.9	69.68	34.54	17.50
Input, kW/Ton	0.7171	0.6366	0.4734	0.4796
Efficiency (EER), BTU/Wh	16.73	18.85	25.35	25.02

Load Line

Cond. Ent. Water Temp., °F	85.00	83.00	81.00	79.00	77.00	75.00	73.00	71.00	69.00	67.00
Percent of Full Load Capacity, %	100.00	90.00	80.00	70.00	60.00	50.00	40.00	30.00	20.00	10.00
Cooling Capacity, Tons	146.2	131.6	117.0	102.3	87.72	73.10	58.48	43.86	29.24	14.62
Input Power, kW	104.9	96.89	85.71	73.13	55.50	42.11	32.93	24.39	16.32	8.002
Input, kW/Ton	0.7171	0.7364	0.7328	0.7146	0.6328	0.5761	0.5632	0.5562	0.5580	0.5473
Efficiency (EER), BTU/Wh	16.73	16.30	16.37	16.79	18.96	20.83	21.31	21.58	21.50	21.92

Staging

Stage Number	6
Cond. Ent. Water Temp., °F	85.00
Percent of Full Load Capacity, %	100.00
Cooling Capacity, Tons	146.2
Input Power, kW	104.9
Input, kW/Ton	0.7172
Efficiency (EER), BTU/Wh	16.73

Anexo 10. Hoja electrónica programada para la generación de informes de ahorro energético para proyectos en iluminación.



Anexo 11. Corriente de arranque de los motores de las unidades fan coil.

Nominal code letter	Locked rotor, kVA/hp	Nominal code letter	Locked rotor, kVA/hp
A	0-3.15	L	9.00-10.00
B	3.15-3.55	M	10.00-11.00
C	3.55-4.00	N	11.20-12.50
D	4.00-4.50	P	12.50-14.00
E	4.50-5.00	R	14.00-16.00
F	5.00-5.60	S	16.00-18.00
G	5.60-6.30	T	18.00-20.00
H	6.30-7.10	U	20.00-22.40
J	7.7-8.00	V	22.40 and up
K	8.00-9.00		

