



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMERICAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA**  
**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**  
**Para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería**  
**Electromecánica**

**Auditoría energética para un sistema de aire  
acondicionado del edificio de las oficinas centrales  
del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica**

**AUTORA**

**Catalina Elena Aragón Azofeifa**

**TUTOR**

**Billy Retana Peña**

**LECTOR**

**Carlos Calderón Borge**

**2023**

## Tabla de contenido

Lista de tablas .....	4
Tabla de ecuaciones.....	6
Tabla de ilustraciones .....	6
Fotografías .....	8
Resumen .....	9
Capítulo 1.    Introducción .....	10
Planteamiento del problema .....	11
Objetivo general .....	12
Objetivos específicos .....	12
Justificación .....	13
Proyecciones.....	14
Limitaciones .....	14
Antecedentes.....	15
Capítulo 2.    Marco teórico .....	30
2.1.    Aire acondicionado .....	31
2.1.1.    Confort térmico .....	32
2.1.2.    Temperatura .....	35
2.1.4.    Carga térmica .....	39
2.1.5.    Procesos de acondicionamiento de aire.....	41
2.1.6.    La carta psicométrica .....	41
2.1.7.    Cálculo de la carga de calor .....	44
2.1.8.    Componentes del sistema de aire acondicionado.....	51
2.2.    Auditoría energética.....	60
2.2.1    Clasificación de la auditoría energética .....	62
2.2.2    Etapas o pasos de la auditoría energética.....	63

2.2.3	Eficiencia energética.....	67
2.2.3.1	Parámetros de eficiencia energética en equipos de aire acondicionado.....	69
2.2.4	Ahorro energético .....	70
Capítulo 3.	Marco metodológico .....	71
3.1.	Enfoque de la investigación.....	72
3.2.	Método de la investigación .....	72
3.3.	Fuentes de información.....	72
3.4.	Variables o unidades de análisis .....	73
3.5.	Instrumentos.....	74
3.6.	Proceso de recolección y análisis de datos .....	74
Capítulo 4.	Análisis de la situación.....	76
4.1.	Fase I: Recopilación inicial de información .....	77
4.2.	Fase II: Inventario y mediciones.....	81
4.2.1.	Inventario .....	81
4.3.	Fase III: Análisis de datos y medidas de ahorro .....	88
4.2.3.	Balance energético .....	88
4.4.	Fase IV: Revisión y control de calidad.....	95
4.4.1.	Oportunidades de conservación de la energía (OCE) .....	95
Capítulo 5.	Conclusiones y recomendaciones.....	118
5.1.	Conclusiones .....	119
5.2.	Recomendaciones .....	121
Capítulo 6.	Propuesta.....	122
Referencias	125	
Anexos	127	
Anexo 1.	Inventario de equipos del sistema de aire acondicionado.....	127

Anexo 2. Factura del consumo eléctrico .....	129
Anexo 3. Cálculo de carga térmica.....	130
Anexo 4. Tablas resumen de carga de térmica. ....	135

## **Lista de tablas**

Tabla N° 1. Descripción de variables o unidades de análisis para el enfoque cuantitativo. Fuente: creación propia. ....	73
Tabla N° 2. Materiales de construcción del edificio. Fuente: Creación propia.....	81
Tabla N° 3. Resumen-inventario de los equipos de aire acondicionado. Fuente: Creación propia. ....	83
Tabla N° 4. Recintos acondicionados. Fuente: Creación propia. ....	84
Tabla N° 5. Condiciones de confort recomendadas por ASHRAE para el diseño de sistemas de climatización. Fuente: (ASHRAE, 2009) .....	87
Tabla N° 6. Consumo eléctrico noviembre 2022 a febrero 2023. Fuente: Oficina de Sostenibilidad, Bomberos Costa Rica. ....	88
Tabla N° 7. Consumo eléctrico marzo 2023 a mayo 2023. Fuente: Oficina de Sostenibilidad, Bomberos Costa Rica. ....	89
Tabla N° 8. índice de emisiones de CO <sub>2</sub> .....	89
Tabla N° 9. Equipos de consumo seleccionados para estudio. Fuente: elaboración propia. ....	91
Tabla N° 10. Equipo de respaldo el cuarto de T.I. del segundo nivel. ....	91
Tabla N° 11. Condiciones de diseño exteriores e interiores.....	92
Tabla N° 12. Consumo de refrigeración requerido por aposento en el día más caliente del año. ....	94
Tabla N° 13. Grupo de equipos de aire acondicionado por nivel.....	96
Tabla N° 14. Grupo de equipos de aire acondicionado por nivel, factor de diversidad. ....	97
Tabla N° 15. Consumo energético sala de reuniones Proveeduría, nivel 2.....	98
Tabla N° 16. Consumo extra de equipo en cuarto de T.I. nivel 2. ....	99
Tabla N° 17. Consumo energético sala de reuniones Morita, nivel 3. ....	102
Tabla N° 18. Consumo por cambio en la temperatura de un aposento. ....	106

Tabla N° 19. Ganancia solar por irradiación en ventanas, comedor nivel dos, a las 12 h en el mes de abril. Vidrio Claro. ....	109
Tabla N° 20. Ganancia solar por irradiación en ventanas, comedor nivel dos, a las 07 h en el mes de octubre. Vidrio Claro.....	109
Tabla N° 21. Ganancia solar por irradiación en ventanas, comedor nivel dos, a las 14 h en el mes de abril. Vidrio Claro. ....	109
Tabla N° 22. Ganancia solar por irradiación en ventanas, comedor nivel dos, a las 18 h en el mes de octubre. Vidrio Claro.....	110
Tabla N° 23. Ganancia solar por irradiación en ventanas, comedor nivel dos, a las 12 h en el mes de abril. Polarizado reflectivo. ....	110
Tabla N° 24. Ganancia solar por irradiación en ventanas, comedor nivel dos, a las 07 h en el mes de octubre. Vidrio reflexivo. ....	110
Tabla N° 25. Ganancia solar por irradiación en ventanas, comedor nivel dos, a las 14 h en el mes de abril. Polarizado reflexivo. ....	111
Tabla N° 26. Ganancia solar por irradiación en ventanas, comedor nivel dos, a las 18 h en el mes de octubre. Vidrio Reflexivo.....	111
Tabla N° 27. Resumen total carga calórica por irradiación de vidrios en el comedor, nivel 2. ....	111
Tabla N° 28. Detalle costos de mantenimiento por año. ....	116
Tabla N° 29. Condiciones del diseño. Tienda ASECUBO, nivel 1. ....	130
Tabla N° 30. Condiciones de diseño a lo externo y a lo interior.....	130
Tabla N° 31. Ganancia solar por techos. ....	132
Tabla N° 32. Ganancia solar en paredes.....	132
Tabla N° 33. Carga por ocupantes.....	133
Tabla N° 34. Ganancia Internas del local.....	133
Tabla N° 35. Carga por equipos eléctricos. ....	133
Tabla N° 36. Datos generales. ....	133
Tabla N° 37. Ganancia total. ....	133
Tabla N° 38. Ranuras. ....	134
Tabla N° 39. Ganancia internas que aporta el aire de renovación por infiltraciones. ....	134
Tabla N° 40. Ganancia internas que aporta el aire total. ....	134

Tabla N° 41. Conversión a BTU/h. ....	134
---------------------------------------	-----

### **Tabla de ecuaciones**

Ecuación N° 1. Humedad absoluta o específica. ....	37
Ecuación N° 2. Humedad relativa. ....	37
Ecuación N° 3. Cálculo de ganancia térmica para estructura exterior. ....	44
Ecuación N° 4. Corrección del factor parar carga térmica de estructura exterior. ....	45
Ecuación N° 5. Carga térmica para estructuras interiores. ....	46
Ecuación N° 6. Ganancia de calor a través de vidrios por radiación. ....	46
Ecuación N° 7. Ganancia de calor por alumbrado. ....	47
Ecuación N° 8. Ganancia de calor sensible por persona. ....	47
Ecuación N° 9. Ganancia de calor sensible por personas. ....	47
Ecuación N° 10. Ganancia térmica por equipos. ....	48
Ecuación N° 11. Corrección cada ganancia de calor sensible de recinto. ....	49
Ecuación N° 12. Conductancia de la unidad de longitud. ....	49
Ecuación N° 13. Calor sensible debido a ventilación. ....	50
Ecuación N° 14. Calor latente dedico a ventilación. ....	50
Ecuación N° 15. Ganancia de calor en ductos. ....	51
Ecuación N° 16. Depreciación de los equipos. ....	116

### **Tabla de ilustraciones**

Ilustración 1. Tabla 30: Comportamiento de la productividad. ....	15
Ilustración 2. Cuadro 6.16. Valores medios, máximos y mínimos encontrados de temperatura y humedad para las áreas de estudio. ....	24
Ilustración 3. Figura 6.24 Curva de humedad relativa diaria correspondiente al martes. ....	25
Ilustración 4. Tabla 15. Cálculo de inversión inicial, costos operativos y mantenimiento según tecnología de A/C. ....	26
Ilustración 5. Tabla 8. Información requerida para la elaboración de una matriz energética. ....	29

Ilustración 6. Unidad de ventilación y enfriamiento por Leonardo da Vinci. Fuente: Pita, E. G. (2014). Acondicionamiento de Aire - principios y sistemas 2b: Edición.....	32
Ilustración 7. Cesión de calor corporal al ambiente. Fuente: <a href="https://itmmantenimiento.com/cai/estudios-de-confort-termico">https://itmmantenimiento.com/cai/estudios-de-confort-termico</a> .....	34
Ilustración 8. Sistema común para medir la temperatura. Fuente: Freedman, R. A., & Sears, F. (2018). Física Universitaria con física moderna 14° edición. ....	36
Ilustración 9. Temperatura de bulbo húmedo. Fuente: Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2019). Termodinámica 9° edición. ....	38
Ilustración 10. Transmisión del calor. Fuente: <a href="https://curiosoando.com/que-es-la-conductividad-termica">https://curiosoando.com/que-es-la-conductividad-termica</a> .....	40
Ilustración 11. Cartas psicométricas. Fuente: Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2019). Termodinámica 9° edición. ....	42
Ilustración 12. Cartas psicométricas. Fuente: Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2019). Termodinámica 9° edición. ....	43
Ilustración 13. Cartas psicométricas. Fuente: Valcon. ....	43
Ilustración 14. Ciclo por compresión de vapor. Fuente: <a href="http://rsilvera-utp-fim-refrigeracion.blogspot.com/2015/07/ciclo-real-de-refrigeracion-por.html">http://rsilvera-utp-fim-refrigeracion.blogspot.com/2015/07/ciclo-real-de-refrigeracion-por.html</a> .....	52
Ilustración 15. Unidad de ventana. Fuente: internet. ....	53
Ilustración 16. Miniplits. Fuente: internet. ....	54
Ilustración 17. Splits. ....	54
Ilustración 18. Fancoil. ....	55
Ilustración 19. Paquetes de techo y unidades autocontenidas. ....	55
Ilustración 20. Unidad de precisión. ....	56
Ilustración 21. Unidad manejadora de aire. ....	56
Ilustración 22. Chiller. ....	57
Ilustración 23. Sistemas de volumen variable. ....	58
Ilustración 24. Ubicación georreferenciada del edificio auditado. ....	78
Ilustración 25. Características de consumo para la tarifa preferencial. Fuente: ARESEP. ..	80
Ilustración 26. Características de consumo para la tarifa preferencial. Fuente: ARESEP. ..	80
Ilustración 27. Temperatura máxima y mínima promedio en San José, 2022. Fuente: Weather Spark. ....	85

Ilustración 28. Temperatura máxima y mínima promedio en San José, 2022. Fuente: Weather Spark. ....	85
Ilustración 29. Temperatura promedio por hora en San José, 2022. Fuente: Weather Spark. ....	86
Ilustración 30. Niveles de comodidad de la humedad en San José, 2022. Fuente: Weather Spark. ....	87
Ilustración 31. Promedio de niveles de comodidad de la humedad en San José, 2022. Fuente: Weather Spark. ....	87
Ilustración 32. Extracto recibo consumo eléctrico. ....	90
Ilustración 33. Inventario de equipos de sistema de aire acondicionado.....	127
Ilustración 34. Continuación inventario de equipos de sistema de aire acondicionado .....	128
Ilustración 35. Datos de psicometría. ....	131
Ilustración 36. Datos de psicometría. ....	131
Ilustración 37. Extracto página 366. Air Conditioning Manual, The Trane Company. ....	135
Ilustración 38. Extracto página 367. Air Conditioning Manual, The Trane Company. ....	136
Ilustración 39. Extracto página 368. Air Conditioning Manual, The Trane Company. ....	137
Ilustración 40. Extracto página 369. Air Conditioning Manual, The Trane Company. ....	138
Ilustración 41. Extracto página 370. Air Conditioning Manual, The Trane Company. ....	138
Ilustración 42. Extracto página 372. Air Conditioning Manual, The Trane Company. ....	139
Ilustración 43. Extracto página 373. Air Conditioning Manual, The Trane Company. ....	139
Ilustración 44. Extracto página 376. Air Conditioning Manual, The Trane Company. ....	140
Ilustración 45. Extracto página 377. Air Conditioning Manual, The Trane Company. ....	140
Ilustración 46. Extracto página 378. Air Conditioning Manual, The Trane Company. ....	140
Ilustración 47. Extracto página 379. Air Conditioning Manual, The Trane Company. ....	141
Ilustración 48. Extracto página 385. Air Conditioning Manual, The Trane Company. ....	142

## **Fotografías**

Fotografía N° 1. Nivel 1. ....	143
Fotografía N° 2. Nivel 2. ....	143
Fotografía N° 3. Nivel 3. ....	144

## **Resumen**

El objetivo del presente proyecto es verificar el desempeño energético del sistema de aire acondicionado instalado en el edificio de oficinas centrales del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, con el fin de constatar si este sistema tiene las características adecuadas para proveer la climatización requerida por el edificio. Mediante la implementación de una auditoría energética será posible realizar una recolección de datos con los cuales se pueda examinar el consumo del sistema en funcionamiento y sus vicios. Contra estos datos se revisará si estos consumos son adecuados según las características del actual edificio.

Durante el desarrollo de la investigación se realizará una actualización del inventario de equipos en funcionamiento y a cuáles sectores del edificio sirven. Se corroborarán los planos mecánicos existentes y con base en ellos se iniciará el estudio de factores que podrían estar influyendo en un desempeño no adecuado. La recolección de información permitirá aprovechar todas aquellas oportunidades de mejora que el sistema requiera.

Con los resultados de este proyecto la institución podrá llevar a cabo la corrección de las falencias que posea el sistema de aire acondicionado, así como también reforzar aquellas partes del sistema que no tengan un diseño y funcionamiento adecuados. Al tratarse de una investigación que involucra el desempeño energético de los equipos, las posibilidades de optimizar el consumo de energía convergen en una reducción de los costos mensuales de implementación, así como de mantenimiento.

Dado que el Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica es una institución con financiamiento del Estado, los datos sobre consumos eléctricos y sus costos económicos se consideran información sensible, aunque se cuente con el consentimiento de la institución para la utilización de estos fondos, pues son fondos que se deben manipular de forma tal que se tenga un grado de discreción considerable. La protección de datos de una tesis contribuye no solo a la integridad y credibilidad de la investigación sino también al respeto de los derechos y a la privacidad de los individuos involucrados en el estudio.

## **Capítulo 1. Introducción**

## **Planteamiento del problema**

Actualmente el edificio de las oficinas centrales del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica cuenta con un sistema de aire acondicionado que ha crecido de acuerdo con las necesidades del edificio; sin embargo, la expansión del sistema de aire acondicionado por medio de este no obedece a ningún parámetro de diseño más que a la necesidad de los ocupantes cuando fuese requerido. Bajo estas circunstancias se presenta la interrogante de conocer si el sistema de aire acondicionado instalado actualmente en el edificio tiene las características necesarias para las particularidades de este, por ejemplo, en cuanto a si su eficiencia es la adecuada de acuerdo con el uso de la edificación y de si existen oportunidades de mejora que potencien el desempeño de este sistema.

Es por lo que, mediante el desarrollo de una auditoría energética, se investigará si el rendimiento actual del sistema de aire acondicionado del edificio es el requerido, o si se necesita implementar mejoras para alcanzarlo. Mediante esta auditoría se definirán oportunidades de mejora para el sistema de aire acondicionado, según las condiciones actuales de uso del edificio con los cuales se podrá presentar un manejo más adecuado de la energía, para así mejorar su consumo, ajustar los componentes del sistema para aumentar la eficiencia o, en caso contrario, si se deben agregar equipos para un desempeño óptimo, dado que se evidencia que de acuerdo con las condiciones actuales del edificio los equipos existentes no son suficientes.

## **Objetivo general**

Realizar un análisis del sistema de aire acondicionado del edificio de oficinas centrales del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, para verificar su desempeño energético de acuerdo con la demanda actual del edificio.

## **Objetivos específicos**

1. Realizar un inventario de los equipos que forman parte del sistema de aire acondicionado y catalogarlos de acuerdo con sus características.
2. Recopilar la información requerida para el auditaje del sistema de aire acondicionado.
3. Verificar el desempeño actual del sistema de aire acondicionado del edificio.
4. Analizar el sistema de aire acondicionado para valorar oportunidades de mejora.
5. Presentar las oportunidades de mejora para el desempeño del sistema de aire acondicionado del edificio.
6. Cotizar los materiales para la implementación de las diferentes oportunidades de conservación de energía realizando su análisis desde el punto de vista financiero.

## **Justificación**

Una de las razones principales para la implementación de un sistema de aire acondicionado en un edificio es la necesidad de generar un ambiente confortable dentro de las distintas áreas de este y que, bajo este confort, el uso del edificio sea amigable y fomente el desarrollo de las actividades asociadas de manera diligente. Los espacios que se sirven de un sistema de aire acondicionado favorecen la productividad, no solo de los ocupantes sino de los equipos electromecánicos que estos albergan.

Hoy en día la implementación de un sistema de aire acondicionado puede llevarse a la medida de cada necesidad, y obtenerse óptimos resultados, tanto en acondicionamiento como en consumo de refrigerantes y en la energía para su funcionamiento. El contar con un mal diseño de un sistema de aire acondicionado no solo indisponde a los ocupantes del edificio, sino que es sinónimo de un alza en el costo de consumo y de mantenimiento.

Con el desarrollo de esta investigación se busca ofrecer los insumos necesarios para llevar el sistema de aire acondicionado al edificio de las oficinas centrales del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, a un nivel óptimo de funcionamiento, e identificar las carencias o fallas que este presenta para proponer los ajustes necesarios. Esta investigación busca no solo contribuir con la mejoría de las condiciones ambientales del edificio sino también ajustar los costos de consumo asociados con el uso del sistema de aire acondicionado.

## **Proyecciones**

Con la realización de este proyecto se pretende:

- Dar a conocer estrategias de mejora en temas de eficiencia y ahorro energético.
- Mostrar un panorama real de las condiciones del sistema de aire acondicionado del edificio.
- Este proyecto no contempla los costos adicionales a posibles mejoras en técnicas de eficiencia.
- Cuantificar las ventajas de migrar a tecnologías más adecuadas, reflejadas en la vida útil, prestaciones y oportunidades de mejora.

## **Limitaciones**

Las limitaciones que se han identificado para el desarrollo satisfactorio de esta investigación son:

- La estructura actual del edificio puede no permitir el almacenaje de los equipos que resulten ser la mejor opción tanto a nivel de climatización como en términos económicos.
- Crear nuevos espacios de trabajo dentro del edificio podría alterar los datos recolectados durante el desarrollo de esta investigación.
- La implementación de las acciones de mejoras del sistema de aire acondicionado que el análisis del desempeño energético provea quedan sujetas a la aprobación del presupuesto institucional, al ser el lugar de estudio un edificio perteneciente al sector público.

## Antecedentes

### 1.

INSTITUCIÓN: Universidad César Vallejo, Lima, Perú.

TÍTULO: Mantenimiento preventivo para mejorar la productividad de los equipos de aire acondicionado del centro quirúrgico del Instituto Nacional de Oftalmología.

AUTOR: Giancarlo Jamanca Paredes.

FECHA: 2020.

*Tabla 30: Comportamiento de la productividad*

PRE TEST 2019		POST TEST 2020	
MES	PRODUCTIVIDAD	MES	PRODUCTIVIDAD
SEPTIEMBRE	42.11%	FEBRERO	70.59%
OCTUBRE	51.62%	MARZO	91.43%
NOVIEMBRE	53.33%	ABRIL	94.12%
<b>TOTAL</b>	<b>49.02%</b>	<b>TOTAL</b>	<b>85.38%</b>

*Fuente: Elaboración propia*

*Ilustración 1. Tabla 30: Comportamiento de la productividad*

“En las tablas anteriores se puede observar el resultado de la productividad al ejecutar la optimización del mantenimiento preventivo durante los meses de febrero, marzo y abril, teniendo como resultado un porcentaje de 85,38%, un incremento de 74,17%”

En su tesis Jamanca Paredes realiza un análisis de cómo la implementación de un plan de mantenimiento menos correctivo y más preventivo eleva la productividad de un sistema de aire acondicionado. Con sus resultados Jamanca Paredes asegura que con su proyecto los procedimientos médicos que dependen del uso de los sistemas de aire acondicionado dejarán de verse afectados, al reducir los paros por acciones correctivas o averías de los equipos. Además, permitirá una mejor planificación en la implementación de mejoras que, con el consumo normal de la vida útil de los equipos sean requeridas y requieran una desconexión de los sistemas.

Los resultados obtenidos en la tesis de Jamanca Paredes muestran un panorama de la importancia de contar con un esquema de mantenimiento que no signifique un inconveniente en el uso de los sistemas de aire acondicionado.

Para el desarrollo de este estudio se tomarán en consideración las oportunidades de mejora dictadas por Jamanca Paredes para todos aquellos equipos que no reunían las condiciones de operación esperadas.

## 2.

INSTITUCIÓN: Universidad Carlos III de Madrid, España.

TÍTULO: Auditoría energética: procedimiento y ejemplo de implementación en grandes edificios terciarios.

AUTOR: Marta Anguita Fernández.

FECHA: 2015.

### “OBJETIVOS DE UNA AUDITORÍA ENERGÉTICA

El objetivo final de la eficiencia energética es reducir el consumo de energía en los edificios. En definitiva, es reducir la demanda sin que se afecte el rendimiento de los sistemas.

Esta optimización se consigue realizando de forma simultánea la reducción de la demanda y aumentando el rendimiento de los sistemas. Para evaluar el impacto real de un determinado equipo hay que realizar el análisis teniendo en cuenta no solo la energía final que se le ha suministrado para cubrir la demanda, sino que hay que considerar la fuente de energía primaria utilizada para este fin.

En definitiva, una auditoría persigue como objetivos adecuar los consumos reales a los consumos nominales, revisar los equipos, los procesos y garantizar un buen mantenimiento de las instalaciones. Una forma de reducir los consumos nominales es introduciendo nuevas tecnologías que aumenten la eficiencia del consumo energético. Es decir, acercar los consumos energéticos a los mínimos termodinámicamente admisibles, minimizar la demanda

del proceso mediante el aprovechamiento de corrientes residuales y la optimizar la operación de los servicios energéticos.

Desde este enfoque de ahorro y eficiencia energética la auditoría es una herramienta eficaz que permite identificar los escenarios en donde el consumo energético se realiza de forma ineficiente, estableciendo, además, las posibles mejoras de índole técnica y organizativa encaminadas a la mejora de la economía energética del sistema en el que se aplica.

Tal como lo describe Anguita Fernández, el objetivo de aplicar una auditoría energética a un edificio tiene como objetivo principal la búsqueda del ahorro energético, acción que se traduce al final de la intervención en ahorro económico. Las ideas plasmadas en la tesis de Anguita Fernández se tomarán como referencia en el desarrollo del presente proyecto, ya que se compaginan con los objetivos de este.

### 3.

INSTITUCIÓN: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.

TÍTULO: Selección de los equipos HVAC para la remodelación del sistema de aire acondicionado de las oficinas Euroelec (Sede Perú).

AUTOR: Aldahir Romero Carpio.

FECHA: 2022

“Recolección de datos:

A continuación, se indican los datos básicos necesarios para el inicio de este estudio, de los cuales se desprenden otros datos y parámetros:

- Planos
- Ubicación geográfica
- Datos meteorológicos
- Datos constructivos o arquitectónicas

- Requerimientos del lugar...”

En su tesis Romero Carpio tiene como objetivo seleccionar los equipos HVAC para la remodelación del sistema de aire acondicionado de las oficinas de Euroelec, Sede Perú. Adicional a esto, el autor pretende llevar soluciones que permitan la mejora seccionando las áreas de estudio de consumo.

La información que se encuentra en este antecedente se usará como referencia del método de levantamiento o recolección de datos utilizado, puesto que a fin de cuentas es lo que se pretende con el presente proyecto.

#### 4.

INSTITUCIÓN: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.

TÍTULO: Cálculo térmico y parámetros de selección de un sistema de aire acondicionado para el auditorio del Museo Nacional del Perú Lima- Lurín.

AUTOR: Juan Junior Santos Becerra.

FECHA: 2022

“Recomendaciones

Dentro de las principales recomendaciones de la presente monografía técnica se tiene lo siguiente:

- Se recomienda realizar el cálculo de la carga térmica de forma detallada con la finalidad de extraer el calor necesario y así poder realizar la correcta selección del equipamiento sin sobredimensionamiento, ya que esto puede generar un sobre costo al proyecto.
- Se recomienda analizar minuciosamente los planos arquitectónicos del proyecto para obtener la mayor cantidad de datos posible y para que se puedan realizar los cálculos de carga térmica de una manera más cercana a lo real.

- Se recomienda realizar una contrastación de resultados de la carga térmica del auditorio por medio de softwares y posteriormente analizarlos para tener un mayor respaldo en el momento de calcular los parámetros de selección del equipamiento”

En su tesis, Santos Becerra da recomendaciones a la hora de realizar un estudio de carga térmica en un aposento del auditorio del Museo Nacional del Perú Lima-Lurín, recomendaciones que se consideran insumo relevante para el desarrollo del presente proyecto a la hora de llevar a cabo los cálculos ingenieriles y establecer los parámetros de diseño para el edificio en estudio en sus condiciones actuales.

## 5.

INSTITUCIÓN: Universidad de Valladolid, España.

TÍTULO: Gestión energética de un edificio universitario aplicando la ISO 50001

AUTOR: María Blanca Díaz Alonso.

FECHA: 2016.

“Desde la publicación de la ISO 50001, en junio de 2011, el número de empresas que han optado por la implementación y certificación de acuerdo con dicha norma ha ido aumentando rápidamente, hasta llegar a las 4.730 empresas certificadas a finales del año 2013 pero eran solo 92 las empresas certificadas a nivel mundial en 2012. La mayoría de los cuales pertenecían a certificaciones europeas (78,7%).

Esta rapidez en la implementación de una nueva norma internacional refleja el grado de concienciación y la predisposición que las organizaciones tienen respecto a la mejora de la gestión energética de sus instalaciones”

En la explicación de su tesis, Díaz Alonso hace hincapié en que la gestión de la energía puede ir más allá de solo un ahorro energético y por consecuencia económico, sino que al demostrar el compromiso con políticas de gestión de la energía indirectamente genera un ordenamiento de las áreas de la empresa, con el objetivo de medir, controlar y reducir el gasto energético

y, entre otras cosas, refleja una responsabilidad corporativa por el ambiente y su batalla contra el cambio climático.

Si bien el presente proyecto no muestra dentro de su alcance implementar un modelo de gestión energético basado en la norma ISO 50001, los parámetros que se pretenden actualmente podrían establecer los indicadores iniciales de desempeño energético para el monitoreo y la medición del desempeño energético de esta pequeña sección de la institución y, basados en las políticas internas medioambientales, dan pie a una línea base energética para cada proceso, para planificar y fijar metas reales en la reducción del consumo energético.

## 6.

INSTITUCIÓN: Universidad César Vallejo, Lima, Perú.

TÍTULO: Auditoría Energética Eléctrica en el Campamento Palo Verde – Olmos.

AUTOR: Giancarlo Gentile García Paiva.

FECHA: 2021.

“Métodos de análisis de datos.

Se han tomado para la realización de esta investigación algunos parámetros como horas de trabajo de los equipos y consumo de energía, que se analizaron con el uso de la estadística descriptiva, con lo cual se generaron tablas y los gráficos correspondientes. Estos se realizaron en Excel calculando el promedio aritmético, la dispersión y las ecuaciones de tendencia de las curvas graficadas. Esto permitirá un estudio adecuado para encontrar soluciones en el momento de elegir la mejor propuesta.”

García Paiva expone en su trabajo de tesis indicadores de consumo como base para el desarrollo de una auditoría energética, los cuales se realizaron en el programa Excel. Actualmente el inventario de los equipos del sistema de aire acondicionado se encuentra en esta misma plataforma, por lo que se desarrollarán con esta herramienta los datos estadísticos que indica García Paiva para definir las propuestas de mejora del sistema.

## 7.

INSTITUCIÓN: Universidad de Costa Rica.

TÍTULO: Diseño del sistema de aire acondicionado y ventilación para el edificio del Centro Nacional de Control del Dolor y Cuidados Paliativos.

AUTOR: Luis Andrés Flores Quirós.

FECHA: 2017.

“Para la selección adecuada de los equipos utilizados para acondicionar los espacios con que cuenta este proyecto, se consideró una lista de parámetros, la cual se indica a continuación:

- Capacidad total y sensible requerida del equipo.
- Caudal total de aire que debe manejar el equipo.
- Caudal de aire de ventilación que debe manejar el equipo.
- Temperatura de entrada al condensador.
- Condición del aire que entra al evaporador.
- Voltaje de funcionamiento, y número de fases.
- Espacio físico disponible para colocar las unidades, ductos y accesorios.
- Accesorios.
- Tipo de refrigerante”

El Ing. Flores desarrolla en su tesis una sección con los parámetros para la selección de los equipos de climatización que permite entender de forma clara las consideraciones que se deben tomar al seleccionar los equipos de la amplia gama que ofrece el mercado, basados en los resultados obtenidos, con la evaluación del edificio por climatizar. Esta información representa una guía a la hora de seleccionar un equipo y ofrece los insumos para justificar las

características de la selección de estos equipos en los diferentes carteles de licitación que eventualmente se requieran hacer.

## 8.

INSTITUCIÓN: Universidad de Costa Rica.

TÍTULO: Efecto de la experiencia corporal de frío sobre la calidez interpersonal hacia grupos sociales. Un estudio desde la cognición corporizada.

AUTOR: Fiorella Jara Sanabria.

FECHA: 2017.

“Tradicionalmente, la cognición ha sido descrita como un fenómeno individual dirigido por el sistema nervioso, en el cual se manipulan las representaciones mentales que se tienen de los objetos o personas (Encabo, 2005, Soto, 2007). Su estudio se ha enfocado en las redes neuronales, modelos computacionales y las bases biológicas de la actividad cerebral (Wilson & Foglia, 2016). Sin embargo, en la década de los años ochenta y noventa del siglo pasado surgió un enfoque alternativo de investigación conocido como *embodiment* o cognición corporizada. Esta parte del supuesto de que el sistema sensoriomotor es parte constitutiva de los procesos cognitivos (Letheby, 2012). El principal objetivo del *embodiment* es comprender cómo las características del cuerpo físico influyen en las capacidades perceptivas, ofreciendo una perspectiva amplia e integradora de la cognición (Rodríguez, 2012, Wilson & Foglia, 2016). Para Wilson & Foglia (2016) un ejemplo simple de ello son los conceptos de arriba-abajo o izquierda-derecha, los cuales no podrían definirse sin el posicionamiento corporal. En el mismo plano, estudios dirigidos por Beirute-Herrera, Angulo-Castro, Fallas-Gamboa & Prado-Calderón (2014) y Inbar, Pizarro & Bloom (2012) evidenciaron cómo la presencia de un olor ambiental desagradable influyó negativamente en las actitudes hacia personas homosexuales. Y el de Bargh & Shalev (2012) y Williams & Bargh (2008) demostraron cómo la experiencia corporal de frío y calor, respectivamente, intervinieron en la formación de impresiones de la personalidad de los participantes del grupo experimental. Tomando como principales antecedentes las dos últimas investigaciones y con el fin de incrementar la evidencia del *embodiment* en el país se desarrolló un estudio

experimental que se propuso establecer el efecto de la experiencia corporal de frío en la actitud hacia grupos sociales en estudiantes universitarios. Basada en William & Bargh (2008), la hipótesis alternativa consistió en que las personas expuestas a un ambiente frío tuviesen actitudes más desfavorables hacia los grupos sociales en comparación con las del grupo control; esto por medio de una manipulación experimental no prevista ni desagradable para los participantes. La variable dependiente se midió mediante los resultados de dos escalas que evaluaban la formación de impresiones de la personalidad (Asch, 1952) y la actitud hacia grupos sociales (Inbar *et al.* 2012), respectivamente.

Según los resultados obtenidos, se reconoce la falta de diferencias significativas entre grupos de tratamiento en la formación de impresiones y actitudes hacia grupos sociales, es decir, los datos recolectados aportan evidencia contra la hipótesis planteada. A pesar de ello, el grupo experimental reportó una sensación corporal de frío significativa, no prevista ni desagradable ( $t(38) = 3,075, p=0,004$ ), elemento que, además de ser deseado por los investigadores, evidencia que la manipulación de la variable fue efectiva. Por eso es necesario el desarrollo de más pruebas que determinen el efecto de la temperatura ambiental en los procesos cognitivos, ya que desde otras investigaciones se ha demostrado la relación de la experiencia corporal con distintas manifestaciones de la cognición (Bargh & Shalev, 2012, Williams & Bargh, 2008).”

El argumento expuesto mediante el experimento realizado por Jara Sanabria hace referencia a uno de los objetivos principales para la implementación de los sistemas de aire acondicionado, ofrecer un ambiente confortable en un espacio de estancia.

Estos resultados complementan la justificación del presente proyecto, ya que evidencia que la permanencia de los ocupantes del edificio en espacios que no poseen un confort climático adecuado repercute en la toma de decisiones y el desarrollo de tareas, considerando el insumo para el presente proyecto. Esto se podría traducir en una disminución del rendimiento laboral de los empleados.

## 9.

INSTITUCIÓN: Universidad de Costa Rica.

TÍTULO: Auditoría Energética del Edificio C de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica.

AUTOR: Óscar Valverde Sánchez.

FECHA: 2014.

“Estas temperaturas entran dentro de los ámbitos de confort mencionados en párrafos anteriores, por lo no se requiere una manipulación en gran escala de los equipos de acondicionamiento del aire. En el Cuadro 6.16 se muestran los datos máximos mínimos y promedios de temperatura y humedad registrados durante los períodos laborales del edificio, es decir, de 7:00-22:00 de lunes a viernes.

<b>Cuadro 6.16</b> Valores medios, máximos y mínimos encontrados de temperatura y humedad para las áreas de estudio					
<b>Parámetro</b>	<b>Datos</b>	<b>Ambiente</b>	<b>C5 (LAINII 1)</b>	<b>C9 (LAINII 2)</b>	<b>C17 (Laboratorio Topográfica)</b>
Temperatura (°C)	Med	21,45	23,46	23,31	23,56
	Max	26,94	25,91	25,62	26,16
	Min	18,77	20,56	19,70	19,27
Humedad Relativa (%)	Med	78,21	67,98	67,80	69,03
	Max	90,19	78,21	75,71	79,96
	Min	60,05	49,17	49,56	51,87

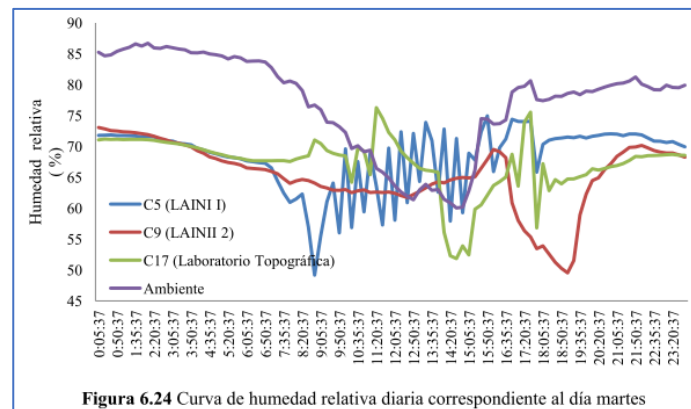
*Ilustración 2. Cuadro 6.16. Valores medios, máximos y mínimos encontrados de temperatura y humedad para las áreas de estudio.*

En cuanto a las humedades relativas se encontraron valores por encima de los valores de humedad recomendados. Aunque estos valores influyen en la sensación corporal de los ocupantes los valores encontrados se asemejan a los recomendados por ASHRAE.

A temperaturas efectivas debajo de los 25°C el efecto de la humedad relativa en el confort térmico es mínimo, pero para arriba de la misma temperatura este parámetro cobra importancia a medida que la pérdida de calor latente se convierte en el principal mecanismo

para eliminar calor metabólico. Si a esas temperaturas el aire se siente húmedo el ambiente se percibe como no confortable (ASHRAE, 2009) ...

... Debido a que las temperaturas en el edificio se mantienen la mayor parte del tiempo por debajo de los 25°C y a que no existen requerimientos específicos en la humedad del aire, desde el punto de vista energético no es conveniente la introducción de otros sistemas de deshumidificación para complementar los sistemas de acondicionamiento del aire que se utilizan actualmente. Como se puede ver en la Figura 6.27 los equipos actuales son capaces de reducir la humedad relativa hasta valores aceptables con el enfriamiento realizado, se puede evidenciar este comportamiento en los valles mostrados en la Figura 6.24 a partir de las 14:00 horas”



*Ilustración 3.* Figura 6.24 Curva de humedad relativa diaria correspondiente al martes.

La tesis de Valverde Sánchez en su sección 6.10 Equipos de aire acondicionado hace un análisis importante cuando define los valores medios, máximos y mínimos encontrados de temperatura y humedad en sus áreas de estudio, al denotar que si bien la temperatura deseada por los usuarios o demandada por el uso del espacio que se va a climatizar no difiere significativamente, la humedad relativa presente en estos recintos sí crea una variable considerable a la hora de establecer los parámetros de confort en un recinto o espacio.

Esta consideración se utilizará dentro de los análisis que se realicen en los distintos espacios del edificio en estudio a, fin de que la humedad relativa no represente una variable en contra del desempeño del sistema de aire acondicionado. De obtener resultados altos de humedad relativa se buscará corregir esta condición con el mismo trabajo de los equipos de aire

acondicionado, para evitar incluir dentro del sistema equipos de deshumidificación, tal como lo recomienda Valverde Sánchez en su tesis.

## 10.

INSTITUCIÓN: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

TÍTULO: Diseño de un sistema de acondicionamiento de aire y extracción mecánica para la sucursal del Instituto Nacional de Seguros de Jacó, Puntarenas.

AUTOR: Roberto Mejías Murillo.

FECHA: 2019

*Tabla 15. Cálculo de inversión inicial, costos operativos y mantenimiento según tecnología de A/C*

Sistema	VRF	Agua helada	Expansión directa tipo paquete	Expansión directa tipo minisplit
Inversión inicial	\$ 127,600.00	\$ 149,600.00	\$ 118,800.00	\$ 61,600.00
Costos de operación	\$ 16,185.29	\$ 19,937.79	\$ 15,780.60	\$ 21,873.83
Costos de mantenimiento	\$ 16,250.00	\$ 18,500.00	\$ 17,350.00	\$ 25,567.00
<b>Valor final</b>	<b>\$ 160,035.29</b>	<b>\$ 188,037.79</b>	<b>\$ 151,930.60</b>	<b>\$ 109,040.83</b>

*Ilustración 4. Tabla 15. Cálculo de inversión inicial, costos operativos y mantenimiento según tecnología de A/C.*

“... El sistema tipo expansión directa por *minisplits* se descarta a pesar de ser la más económica, debido a que la cantidad de unidades condensadoras es superior a cuarenta y en el techo no hay espacio suficiente para colocarlos todos de manera segura. Además, este tipo de unidades tienen restricciones en la longitud máxima permitida entre la condensadora y el evaporador. Debido a la extensión estructural del proyecto las distancias son superiores al límite permitido.

Con respecto al sistema de expansión directa tipo paquete, este posee una desventaja considerable en comparación con el sistema tipo VRF y agua helada y es la gran cantidad de ductos requeridos para abastecer todas las zonas. Desde el punto de vista constructivo esto

dificulta la instalación adecuada para el espacio disponible en el entre cielo, considerando que se deben acondicionar dos niveles con carga térmica muy diversa una respecto de la otra...”

El desarrollo de este proyecto se hará en un edificio existente que es en donde nace la necesidad de instalar un sistema de aire acondicionado. Si bien el edificio en estudio del presente proyecto ya cuenta con un sistema instalado, las consideraciones que se toman al seleccionar el tipo de equipos para el sistema de aire acondicionada. Con referencia a la estructura de edificio existente son de suma importancia para el éxito del proyecto. Se observa que a pesar de que los equipos de tipo expansión directa por *minisplits* representa un costo menor en cuanto a inversión inicial, costos operativos y mantenimiento según su tecnología, la estructura actual del edificio no es compatible con los requisitos mínimos de instalación que estos equipos demandan, lo que los convierte en una opción descartable.

La tesis de Mejías Murillo aporta a este proyecto la conclusión de que, una vez obtenidos los parámetros de diseño, estos se deben adaptar a las realidades de la edificación cuando se trabaja con edificios existentes y que la selección de los equipos debe ser la opción más viable para ese proyecto, considerando eficiencia e inversión inicial razonable.

## 11.

INSTITUCIÓN: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

TÍTULO: Estrategia metodológica para el mejoramiento de la dirección de proyectos electromecánicos para Refritec, S.A.

AUTOR: Anthony Arguedas Fernández.

FECHA: 2019.

“El análisis de los resultados obtenidos se efectúa en varias etapas. En la primera, la fase de descubrimiento, el investigador debe reconocer las pautas con que emergen sus datos, examinándolos de todos los modos posibles. Para ello es necesario leer reiteradamente los datos (o pedirle a alguien más que lo haga), seguir las intuiciones o ideas que surgen en el camino, identificar los temas emergentes en las conversaciones, elaborar tipologías (según el

criterio de las personas observadas o del investigador), intentar la elaboración de conceptos y proposiciones teóricas al respecto (por medio de palabras clave en los discursos que se someten a comparación), leer material bibliográfico (especialmente si se carece de experiencia en el tema estudiado) y desarrollar una guía de la historia para integrar los principales temas. En la segunda fase de codificación se reúnen y analizan los datos según su semejanza, siguiendo la secuencia de: desarrollar categorías de codificación, codificación de los datos en cuanto a su correspondencia positiva o negativa a la categoría, separar los datos pertenecientes a cada categoría en forma mecánica y no interpretativa, verificación de los datos sobrantes y redefinición del análisis. La fase final del análisis, la relativización de los datos consiste en la interpretación de la información según el contexto en el que fue recolectada, considerando si fueron o no solicitados, si el observador hubo influenciado el escenario, las personas que se encontraban en el entorno inmediato en el momento de la recolección, si son datos directos o indirectos la fuente de la información y el sesgo de los propios supuestos.”

En el desarrollo de la sección 3.4 de su tesis, Arguedas Fernández establece tres etapas para el análisis de los resultados obtenidos durante la auditoría energética basándose en los objetivos específicos. Esta operacionalización de los productos o entregables, como él lo llama, permite crear una línea de avance ordenada que se empleará para el desarrollo del presente proyecto.

## **12.**

**INSTITUCIÓN:** Universidad Técnica Nacional.

**TÍTULO:** Propuesta de un modelo de gestión de la eficiencia energética en la planta potabilizadora del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados en Tres Ríos de Cartago, año 2021.

**AUTOR:** Brayan Oporta García.

**FECHA:** 2021.

**Tabla 8. Información requerida para la elaboración de una matriz energética**

Tipo de Energía	Área	Consumo Equivalente (en kWh/mes)	% Representación en la matriz	% acumulado
Energía Eléctrica	Cloración	8222	36,66%	36,66%
	Muestreo	2411	10,75%	47,41%
	Iluminación Perimetral	2279	10,16%	57,57%
	Agitadores de Sulfato Orosi	1870	8,34%	65,91%
	Dosificación Orosi	1754	7,82%	73,73%
	Dosificación Tiribí	1754	7,82%	81,55%
	Sistema aire comprimido	1641	7,32%	88,87%
	Bombeo local	843	3,76%	92,63%
	Agitadores de Sulfato Tiribí	561	2,50%	95,13%
	Polímero	439	1,96%	97,09%
	Casa de habitación	400	1,78%	98,87%
	Limpieza	202	0,90%	99,77%
	Lavado	51	0,23%	100,00%
	OTROS	0	0,00%	100,00%
Total		22427,28251	100%	

Fuente: Elaboración propia.

**Ilustración 5. Tabla 8. Información requerida para la elaboración de una matriz energética.**

“La tabla 8 detalla el porcentaje de representación de la matriz en cada consumo de energía que actúa en el proceso de potabilización, para tener una orientación en la planificación energética de la institución y así poder garantizar una seguridad energética en el uso adecuado de la energía. También, como se detalla, la fuente secundaria de la planta potabilizadora es la energía eléctrica, con una representación del ciento por ciento.”

El insumo creado por Oporta García para evidenciar el consumo de energía de un sistema facilita la interpretación de los datos recolectados durante el desarrollo de una auditoría energética, que demuestra de manera más gráfica cuáles son los consumos actuales que representan una mayor demanda.

Este insumo se utilizará como referencia dentro de la elaboración de este proyecto como una de las referencias para los cotejos de resultados; lo existente con lo teórico requerido.

## **Capítulo 2. Marco teórico**

## 2.1. Aire acondicionado

En ámbitos generales, el término aire acondicionado significa simplemente “enfriamiento del aire”; sin embargo, en el ámbito ingenieril esa definición no es suficientemente útil ni exacta. El acondicionamiento del aire es el proceso de tratamiento de este en un ambiente interior con el fin de establecer y mantener los estándares requeridos de temperatura, humedad, limpieza y movimiento. (E. Pita, 2014. Página 2)

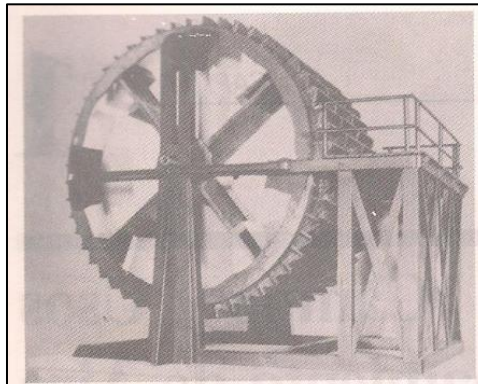
La climatización es un proceso de tratamiento del aire que se efectúa a lo largo de todo el año, para controlar en los espacios interiores la temperatura, la humedad, la pureza y la velocidad del aire, para crear condiciones adecuadas para la comodidad del usuario y lograr el intercambio de aire en los espacios que no pueden ser ventilados de manera natural, o que requieran condiciones especiales de temperatura controlada. (CONUEE, 2019. Página 7)

De acuerdo con E. Pita (2014, página 1), para el hombre prehistórico el fuego fue el medio principal para calentar su morada; la sombra y el agua fría eran probablemente su único alivio contra el calor. Durante millones de años no hubo mejoras significativas en las condiciones de la especie humana. Por ejemplo, las chimeneas de los castillos de la Europa medieval apenas si constituían mejora alguna, ya que solo calentaban el área que las rodeaba. Debido a esto, las pinturas de aquellos tiempos muestran que reyes y reinas usaban pieles y guantes en el interior de las habitaciones durante el invierno.

Hubo algunas excepciones a esta carencia de progreso. Los antiguos romanos tuvieron en algunas construcciones una calefacción notablemente buena, que se lograba al calentar el aire y hacerlo circular por pisos o paredes cóncavas. En el seco clima del Medio Oriente, la gente colgaba mantas mojadas frente a las puertas consiguiendo así un modo primitivo de enfriamiento de aire por evaporación. En Europa, Leonardo da Vinci diseñó un gran enfriador por evaporación.

Sin embargo, el desarrollo efectivo de la calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire (HVAC, *heating, ventilating and air conditioning*, por sus siglas en inglés) se inició hace apenas 100 años. Los sistemas de calefacción central se desarrollaron en el siglo XIX y el acondicionamiento de aire mediante refrigeración mecánica ha progresado solo durante los

últimos 50 años. Pese a ello, en 1985 los sistemas de HVAC en los Estados Unidos de América alcanzaron un total instalado de unos 25 000 millones de dólares anuales.



**Figura 1.1.** Unidad de ventilación y enfriamiento inventada por Leonardo da Vinci en el siglo XV. Esta unidad era para el boudoir de Beatrice d'Este, esposa del mecenas de da Vinci, el duque de Milán. La gran rueda, de un piso de altura, se encontraba en el exterior del palacio y giraba mediante energía hidráulica y algunas veces por esclavos. Las válvulas abrían y cerraban en forma automática, succionando aire hacia el interior del tambor, donde se limpiaba y expulsaba hacia la habitación a través de un eje hueco (Cortesía de IBM Corporation.)

*Ilustración 6. Unidad de ventilación y enfriamiento por Leonardo da Vinci. Fuente: Pita, E. G. (2014). Acondicionamiento de Aire - principios y sistemas 2b: Edición*

### 2.1.1. Confort térmico

Un propósito principal de los sistemas de climatización es proporcionar condiciones para el confort térmico humano, "esa condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico y se evalúa por subjetivo evaluación" (ASHRAE, Estándar 55). Esta definición deja abierto lo que se entiende por "condición mental" o "satisfacción", pero correctamente enfatiza que el juicio de comodidad es un proceso cognitivo que involucra muchas entradas influenciadas por factores físicos, fisiológicos, psicológicos, y otros procesos. (ASHRAE, Fundamentos 2021).

El cuerpo humano puede verse como una máquina térmica cuya entrada de energía es el alimento. Como cualquier otra máquina térmica, el cuerpo humano genera calor de desecho, que debe liberarse hacia el ambiente si el cuerpo va a continuar en operación. La tasa de generación de calor depende del nivel de la actividad. Para un hombre adulto promedio es cercana a 87 W cuando duerme, de 115 W cuando descansa o realiza trabajo de oficina, 230

W cuando juega boliche y 440 W cuando realiza trabajo físico intenso. Los números correspondientes para una mujer adulta son casi 15% menores (esta diferencia se debe al tamaño del cuerpo, no a su temperatura. La temperatura interna del cuerpo de una persona saludable se mantiene constante en 37 °C). Un cuerpo se sentirá cómodo en un ambiente en el cual pueda disipar este calor de desecho. (Çengel y Boles, 2019. Página 748)

La comodidad del cuerpo humano depende de tres factores principales: la temperatura (bulbo seco), la humedad relativa y el movimiento del aire. (Çengel y Boles, 2021. Página 749)

La temperatura del ambiente es el indicio más importante de la comodidad. La mayor parte de la gente se siente cómoda cuando la temperatura del ambiente está entre 22 y 27 °C (72 y 80 °F). Aun cuando estamos familiarizados con el concepto de temperatura como una medida del “frío” y el calor”, no es tan sencillo establecer una definición exacta de este concepto. Es habitual que con base en nuestras sensaciones corporales se exprese el nivel de temperatura de modo cualitativo como frío helador, tibio, cálido o ardiente; sin embargo, no es posible asignar valores numéricos a temperatura basándose únicamente en sensaciones. (Çengel y Boles, 2019. Página 17)

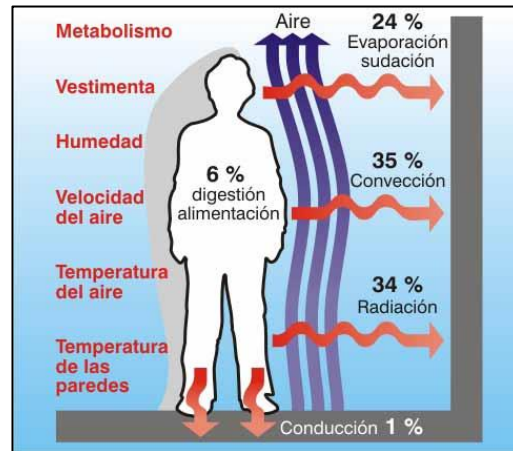
Como se mencionó anteriormente, el cuerpo humano cede calor al generar energía para su funcionamiento. Para conseguirlo, Quadri (2008, páginas 25 a la 27), explica que el cuerpo humano sirve como un mecanismo de autorregulación sensitivo y extremadamente complicado, combinando varios métodos físicos y químicos, como son la variación de la cantidad de sangre enviada a la periferia del cuerpo y la modificación de la cantidad de exudación producida por el organismo. Si bien esta reacción compensa las variaciones de temperatura y las características atmosféricas. Ello se hace a expensas de la comodidad o bienestar térmico mencionado anteriormente.

Pero ello, las instalaciones de climatización artificial de aire acondicionado o calefacción deben proporcionar las condiciones óptimas de bienestar para que el mecanismo de regulación de la temperatura del cuerpo humano funcione con el mínimo esfuerzo.

La cesión de calor corporal al ambiente se produce por:

1. Radiación de la superficie de la piel a las paredes y muebles del aposento.

2. Conducción y convección de la superficie de la piel al aire del local.
3. Evaporación del vapor de agua por exudación de la piel.
4. Respiración caliente y prácticamente saturada de humedad.



*Ilustración 7. Cesión de calor corporal al ambiente. Fuente: <https://itmmantenimiento.com/cai/estudios-de-confort-termico>*

La suma de las partes de calor transmitidas por radiación, conducción y convección se denomina calor sensible del cuerpo y la suma de las diferentes cantidades transmitidas por evaporación y respiración se denomina calor latente o húmedo del cuerpo humano. Todos estos componentes de calor se hallan regulados de modo que su suma permanece constante, dentro de un campo de variación de factores ambientales bastantes amplios. Por ejemplo, si la temperatura del aire ambiente baja, el calor cedido por convección, radiación y conducción aumenta, disminuyendo el calor cedido por evaporación. El calor cedido aumenta con la potencia muscular desarrollada. El trabajador que realiza tareas pesadas cede al ambiente más calor que una persona en reposo corporal.

La humedad relativa también tiene un efecto considerable en el bienestar, pues influye en la cantidad de calor que un cuerpo puede disipar por evaporación. La humedad relativa es una medida de la capacidad del aire para absorber más humedad. La humedad relativa alta retarda el rechazo de calor por evaporación, y la humedad relativa baja lo acelera. La mayoría de la gente prefiere una humedad relativa de 40 a 60 por ciento. (Çengel y Boles, 2019. Página 749). En efecto, si la humedad relativa disminuye 30% se provoca resecamiento de las

mucosas respiratorias y si se supera 70%, por el contrario, produce sensación de pesadez, y se dificulta la función respiratoria, lo que afecta, además, los materiales estructurales alrededor. (Quadri, 2008, páginas 29)

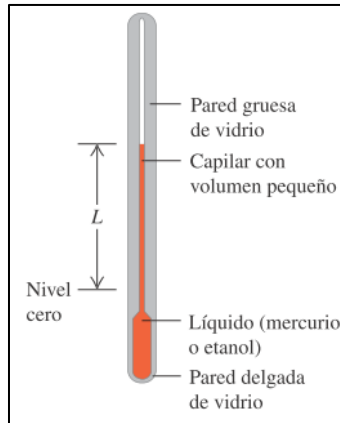
El movimiento del aire también desempeña un papel importante en la comodidad humana. Elimina el aire caliente y húmedo que se forma alrededor del cuerpo y lo sustituye con aire fresco. En consecuencia, el movimiento del aire mejora el rechazo de calor tanto por convección como por evaporación. El movimiento del aire debe ser suficientemente intenso para eliminar calor y humedad de la vecindad del cuerpo, pero al mismo tiempo debe ser apacible para no sentirlo. (Çengel y Boles, 2019. Página 749)

Otros factores que influyen en la sensación de comodidad son la limpieza del aire, el olor, el ruido, la tasa metabólica y el conjunto de materiales de la vestimenta.

### **2.1.2. Temperatura**

De acuerdo con Freedman (2018, páginas 545 y 546), el concepto de temperatura se origina en las ideas cualitativas de “caliente” y “frío”, basadas en nuestro sentido del tacto. Un cuerpo que se siente “caliente” suele tener una temperatura más alta que un cuerpo similar que se siente “frío”. Esto es un tanto ambiguo y los sentidos pueden ser engañados. Sin embargo, muchas propiedades de la materia que podemos medir dependen de la temperatura, incluyendo la longitud de una varilla de metal, la presión del vapor en una caldera, la capacidad de un alambre para conducir corriente eléctrica y el color brillante de un objeto muy caliente.

Para usar la temperatura como medida de calidez o de frialdad es necesario establecer una escala de temperatura. Para ello se puede usar cualquier propiedad medible de un sistema que varíe con su “calidez” o “frialdad”. A continuación, se muestra un sistema común para medir la temperatura:



**Ilustración 8.** Sistema común para medir la temperatura. Fuente: Freedman, R. A., & Sears, F. (2018). *Física Universitaria con física moderna 14<sup>o</sup> edición*.

Cuando el sistema se calienta el líquido colorido (por lo general, mercurio o etanol) se expande y sube por el tubo, y el valor de  $L$  aumenta. Esta propiedad da un número ( $L$ ) que varía con la calidez y la frialdad, así que pueden usarse para fabricar un termómetro.

Para medir la temperatura de un cuerpo se coloca el termómetro en contacto con él. Si se quiere conocer la temperatura de una taza de café, se introduce el termómetro en el líquido. Cuando ambos interactúan el termómetro se calienta y el café se enfría un poco. Una vez que el termómetro se estabiliza se lee la temperatura. El sistema está en una condición de equilibrio, en la cual la interacción entre el termómetro y el café ya no causa un cambio en el sistema, que se llama equilibrio térmico a dicho estado.

### 2.1.3. Propiedades del aire

Según explican Çengel y Boles (2019, página 738), el aire es una mezcla de nitrógeno, oxígeno y pequeñas cantidades de otros gases. Normalmente, el aire en la atmósfera contiene cierta cantidad de vapor de agua (o humedad) y se conoce como aire atmosférico. En contraste, el aire que no contiene vapor de agua se denomina aire seco.

Es conveniente tratar el aire como una mezcla de vapor de agua y aire seco, porque la composición del aire seco permanece relativamente constante, pero la cantidad de vapor de agua varía por la condensación y la evaporación de los océanos, lagos, ríos, regaderas e incluso del agua del cuerpo humano. A pesar de que la cantidad de vapor de agua en el aire es pequeña desempeña un importante papel en la comodidad cotidiana del ser humano. En

consecuencia, es importante tomarlo en cuenta en los dispositivos de acondicionamiento de aire.

Para comprender las variables que influyen en el control de las propiedades del aire se deben introducir algunos conceptos con respecto a estas:

- Humedad absoluta o específica. La cantidad real de vapor de agua por 1 kg de aire seco o la masa de vapor de agua presente en una unidad de masa de aire seco se representa por medio de  $\omega$ .

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} \text{ (kg vapor de agua/kg aire seco)}$$

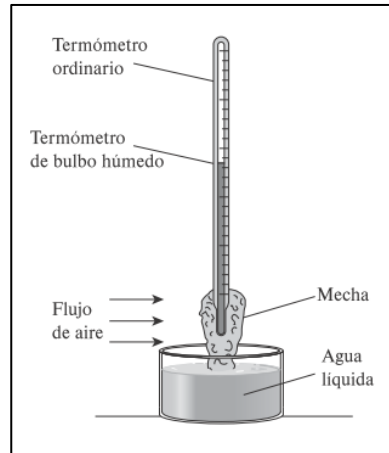
*Ecuación N° 1. Humedad absoluta o específica.*

- Humedad relativa. Es la relación entre la cantidad de humedad que el aire contiene ( $m_v$ ) respecto a la cantidad máxima de humedad que el aire puede contener a la misma temperatura ( $m_g$ ). Se representa por medio de  $\phi$ .

$$\phi = \frac{m_v}{m_g}$$

*Ecuación N° 2. Humedad relativa.*

- Temperatura de bulbo seco. Es la temperatura ordinaria del aire atmosférico. Esta temperatura es aquella dada por un termómetro convencional.
- Temperatura de bulbo húmedo. Es la temperatura que se obtiene al emplear un termómetro cuyo bulbo esté cubierto con una mecha de algodón saturada de agua cuando se sopla aire sobre ella. Esta temperatura se emplea comúnmente en aplicaciones de acondicionamiento de aire.



**Ilustración 9.** Temperatura de bulbo húmedo. Fuente: Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2019). *Termodinámica 9° edición*.

- Temperatura de punto de rocío. Es la temperatura a la que se inicia la condensación si el aire se enfría a presión constante. En otras palabras, es la temperatura de saturación del agua correspondiente a la presión de vapor. Un ejemplo de ella es cuando la temperatura de una lata de bebida fría está por debajo de la temperatura de punto de rocío del aire circundante, cuando se dice que la lata “suda”.
- Entalpía: El contenido de calor de mezcla de aire seco y vapor de agua o aire atmosférico comprende calor sensible y calor latente. El calor sensible se pone de manifiesto en la temperatura de bulbo seco del aire, o sea, está incluido fundamentalmente en el aire seco, mientras que el calor latente se encuentra contenido en el vapor de agua de la mezcla.

Al contenido total de calor de la mezcla de vapor y aire se le denomina entalpía, es, por lo tanto, la suma del calor sensible del aire más el calor latente del agua evaporada como fórmula simplificada. (Quadri, 2008, páginas 23)

- Volumen específico: Es el volumen del aire por unidad de peso de aire seco. (Quadri, 2008, páginas 178)

#### **2.1.4. Carga térmica**

Por lo general, calor es el término que se utiliza para mencionar un tipo de transferencia de energía. Cuando se habla de “calor” o “energía calorífica” el término se refiere a la cantidad de energía que se agrega o se quita a la energía interna total de un objeto, debido a una diferencia de temperatura. (Carballo 2017).

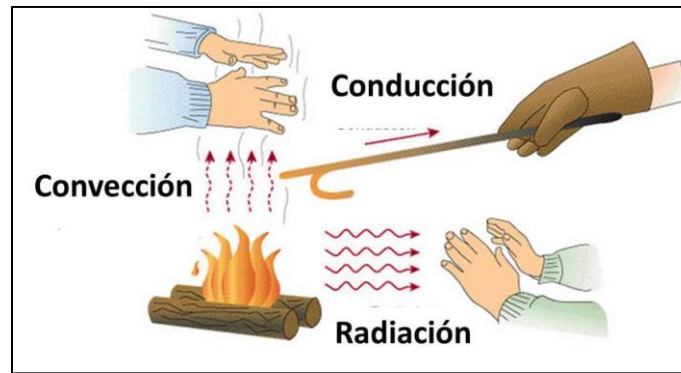
Según explica Quadri (2008, páginas 47), la experiencia demuestra que si el sistema de calefacción deja de funcionar en un edificio durante el invierno la temperatura del aire baja rápidamente. La disminución de la temperatura se debe a dos motivos: la transferencia de calor desde el aire caliente del interior hasta el aire frío del exterior a través de paredes, ventanas y demás partes de la edificación, y las fugas de aire frío a través de las aberturas del edificio, es decir, la infiltración. Para contrarrestar estas pérdidas de calor se debe agregar continuamente energía al interior de la construcción para mantener la temperatura deseada en el aire.

Los fenómenos que intervienen en la transferencia de calor son: la conducción, la convección y la radiación.

En la transmisión de calor por conducción las moléculas que están en contacto directo con la fuente de calor absorben energía térmica a través de toda la superficie en contacto. En ella la agitación molecular provocada por el calor se transmite sobre el elemento progresivamente sin modificar la distancia relativa de las moléculas.

La forma de transmisión por convección resuelta del movimiento global calor por medio de líquidos o gases. Por el efecto de la variación de su peso debido a un aumento o disminución de temperatura, se establece en ellos una circulación permanente y continua de calor.

La radiación se produce en el vacío igual que la radiación de la luz en forma de ondas electromagnéticas. De esta manera el proceso de transferencia de calor por radiación no está vinculado a un soporte o vehículo material alguno. Es la transmisión de calor de un cuerpo a otro sin contacto directo, en forma de energía radiante.



**Ilustración 10.** Transmisión del calor. Fuente: <https://curiosoando.com/que-es-la-conductividad-termica>

En el ámbito de la climatización los factores que alteran la temperatura o humedad relativa, o ambos, de las edificaciones se conocen como cargas térmicas. Los que afectan solo la temperatura seca se conocen como cargas sensibles, mientras que los que afectan la humedad relativa se conocen como cargas latentes. Estos cambios de energía se expresan en forma de calor sensible o calor latente.

El calor sensible es el que al penetrar en el espacio acondicionado producen en él un aumento de temperatura. Es la cantidad de calor que puede recibir un cuerpo sin que se afecte su estructura molecular. Si no cambia la estructura molecular no cambia el estado (sólido, líquido, gaseoso), dado que no cambia la estructura molecular, aunque sí se observa un cambio de temperatura y por eso se denomina calor sensible.

Calor latente, por su parte, es el que se aporta en forma de vapor de agua, que no produce aumento de temperatura del recinto. Las personas aportan calor latente al espacio por efecto de la transpiración y la respiración. Todo elemento en el interior del local que aporta humedad o vapor de agua origina una fuente de calor latente que hay que considerar en los cálculos. El aire exterior también aporta calor latente en forma de vapor de agua, debido a que en general es más húmedo que el interior. Sin embargo, esta fuente la extrae el equipo directamente, y no es una carga específica para el local.

Otro concepto importante de considerar es el de calor específico, el cual se define como la cantidad de calor en BTU (*British thermal unit*, por si siglas en inglés) necesaria para hacer cambiar la temperatura de 1° F en una muestra de agua con una masa de 1 lb. El calor

específico del agua es, por lo tanto, 1 BTU/lb - °F a 60°F. Esta temperatura es consecuencia de la definición de BTU.

### **2.1.5. Procesos de acondicionamiento de aire**

De acuerdo con Çengel & Boles (2019, páginas 749 a 758), las propiedades del aire que se indicaron en la sección anterior deben ser controladas con el fin de llegar a la condición del aire deseada para un recinto. Esto se realiza por medio de procesos de acondicionamiento, los cuales se enumeran a continuación:

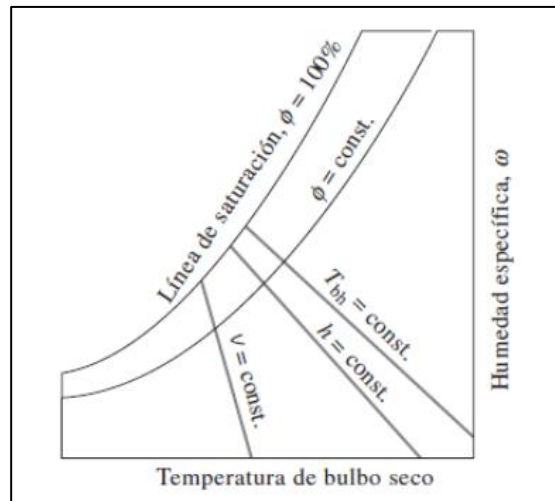
- Calentamiento simple que consiste en elevar la temperatura del lugar.
- Enfriamiento simple, que es reducir la temperatura.
- Humidificación, que consiste en agregar humedad.
- Deshumidificación, que es eliminar la humedad.

En los procesos de calentamiento y enfriamiento simple la humedad relativa permanece constante. La cantidad de procesos que se requieran para lograr el confort climático dependerá de las necesidades de los ocupantes y de las condiciones atmosféricas del lugar en donde se ubique la edificación.

El estudio de las propiedades del aire y los procesos de acondicionamiento de este se realiza por medio de la carta psicométrica. En la siguiente sección se profundizará en el contenido de esta gráfica.

### **2.1.6. La carta psicométrica**

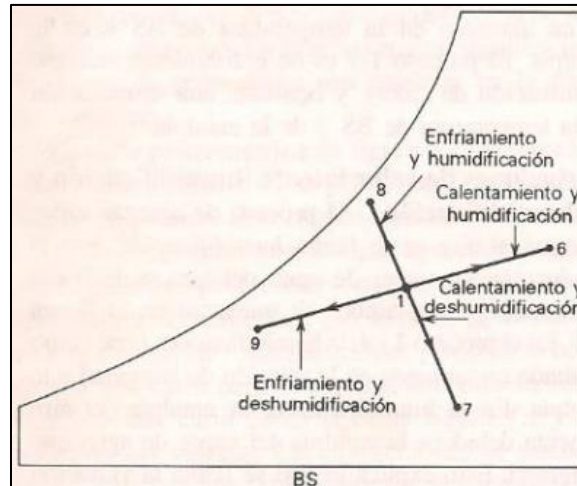
La psicometría es la ciencia que estudia las propiedades físicas del aire atmosférico y por medio de este estudio se llegó a la conclusión de que sería de gran ayuda presentar los datos en gráficas que fuesen fáciles de leer. Estas gráficas reciben el nombre de cartas psicométricas y combinan las características del comportamiento del aire atmosférico con una presión específica. (Çengel y Boles 2019, página 738)



**Ilustración 11.** Cartas psicrométricas. Fuente: Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2019). *Termodinámica 9ª edición*.

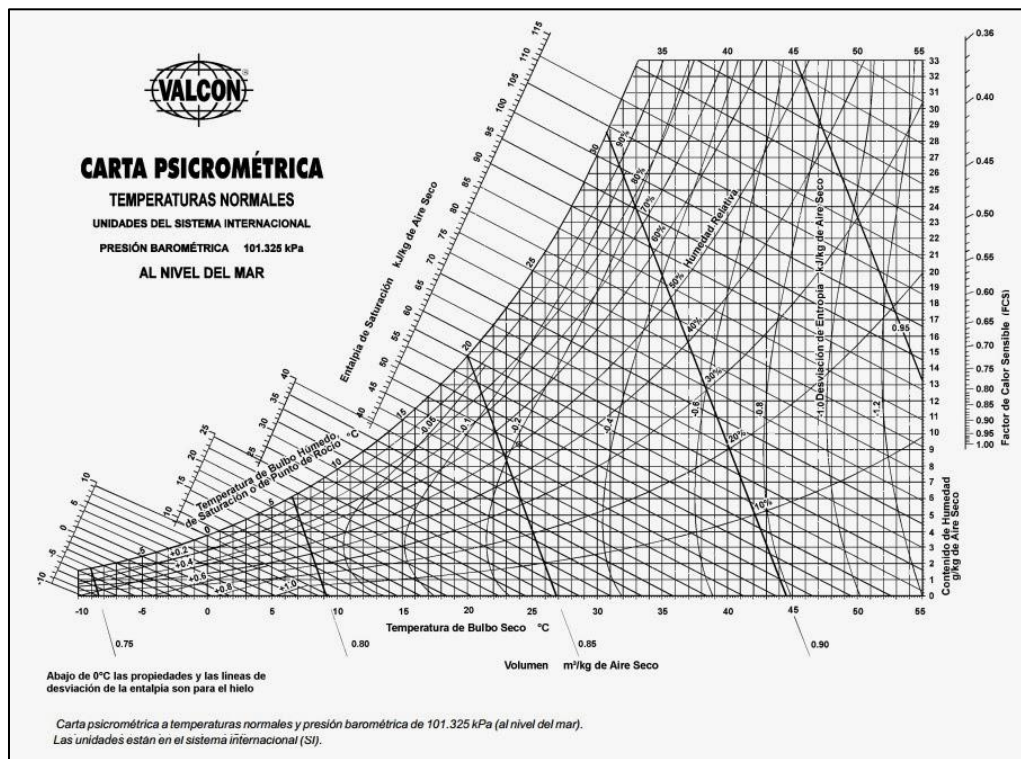
Como se puede observar en la gráfica, la temperatura de bulbo seco se encuentra en el eje horizontal, la humedad específica o relación de humedad se muestra en el eje vertical y la curva de saturación al lado izquierdo, donde se representa 100% de humedad relativa. Por otro lado, la línea de temperatura de bulbo húmedo constante tiene una apariencia hacia abajo a la derecha; las líneas de volumen específico constante son similares a las anteriores, pero más inclinadas; y, por último, las líneas de entalpía constante están casi paralelas a las líneas de temperatura de bulbo húmedo constante. (Çengel y Boles 2019, página 746)

Los procesos de acondicionamiento de aire también se pueden ver en las gráficas. Un proceso de calentamiento o enfriamiento se representa por medio de una línea horizontal, pues la humedad específica permanece constante, mientras que en los casos en los que exista una inclinación de la línea indica que en el proceso hay variación de la humedad específica. Una representación de estos procesos es la que se muestra en la figura.



*Ilustración 12. Cartas psicrométricas. Fuente: Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2019). Termodinámica 9ª edición.*

Existen diferentes cartas psicrométricas las cuales varían según la presión atmosférica. En la siguiente figura se muestra la carta psicrométrica de ASHRAE.



*Ilustración 13. Cartas psicrométricas. Fuente: Valcon.*

### 2.1.7. Cálculo de la carga de calor

En el diseño de sistemas de aire acondicionado se debe tener clara la carga térmica del recinto en el que se desea instalar. La carga térmica se entiende como la cantidad de energía que se almacena en forma de calor en un recinto. El cálculo de carga térmica “corresponde a la cantidad de energía que en forma de calor o frío hay que suministrar a un local, mediante un sistema de calefacción o refrigeración, para mantener las condiciones térmicas de diseño” (Almiñana, 2007, página 105).

De esta forma, el cálculo de carga térmica representa una cantidad fundamental en el diseño de sistemas de aire acondicionado, pues permite tener una estimación de las condiciones térmicas del recinto. El cálculo debe ser detallado y preciso, con el fin de instalar el equipo que se requiere según las condiciones. Realizar el cálculo de carga térmica incorrecto puede ocasionar que se seleccione un sistema que no sea capaz de abastecer la carga demandada o que se sobredimensione el sistema para la carga demandada. Cualquiera de los dos escenarios representa una pérdida económica por sustitución del equipo instalado o un aumento en el costo de mantenimiento, pues a mayor capacidad del equipo mayor consumo de este.

#### 2.1.7.1. Ganancia de calor en recintos.

Según Pita (2005, páginas 135 a la 156), el cálculo de carga térmica se divide en:

- Conducción a través de paredes, techo y vidrios al exterior.

Las ganancias de calor por conducción a través de paredes, techo y vidrios al exterior se calculan mediante:

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

*Ecuación N° 3. Cálculo de ganancia térmica para estructura exterior.*

Donde:

- Q: ganancia neta del recinto por conducción a través del techo, paredes o vidrio [BTU/h]
- U: coeficiente general de transferencia de calor para techo, paredes o vidrio [BTU/(hft<sup>2</sup>°F)]
- A: área de techo, vidrio o pared.
- DTCE<sub>e</sub>: diferencia de temperatura para carga de enfriamiento [F]

Los coeficientes como DTCE<sub>e</sub> dependen directamente del material de los que estén hechos, según sea pared, vidrio o techo. La corrección de este factor está dada por:

$$DTCE_e = [(DTCE + LM) \times K + (78 - t_r) + (t_0 - 85)] \times f$$

*Ecuación N° 4. Corrección del factor para carga térmica de estructura exterior.*

Donde:

- DTCE<sub>e</sub>: valor corregido de DTCE [°F]
- DTCE: temperaturas de las tablas 6.1 o 6.2 [°F]
- LM: corrección para latitud al color y mes, tabla 6.4
- K: corrección debida al color de la superficie
- t<sub>r</sub>: temperatura del recinto [°F]
- t<sub>0</sub>: temperatura de diseño exterior promedio [°F]
- f: factor de corrección para ventilación del cielo raso (solo para el techo)

Además, K tiene el valor de 1 para superficies oscuras o áreas industriales, K=0.5 para techos de color o zonas claras, K=0.65 para paredes de color claro en zonas industriales y por último f es 0,75 para ventiladores de entrepiso y 1 para todos los demás casos.

- Conducción a través de divisiones internas, cielos rasos y pisos.

El calor para espacios internos a través de divisiones, pisos y cielos rasos se puede calcular mediante:

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

***Ecuación N° 5. Carga térmica para estructuras interiores.***

Donde:

- Q: es la velocidad de transferencia de calor a través de la división, piso o cielo raso [BTU/h]
- U: es el coeficiente global de transferencia de calor para la división, piso o cielo raso [BTU/(hft<sup>2</sup>°F)]
- A: es el área la división, piso o cielo raso [ft<sup>2</sup>]
- DT: es la diferencia de temperatura entre los espacios sin acondicionar y los acondicionados [°F]

- Radiación solar a través de los vidrios.

La energía radiante del sol ingresa a través de los vidrios y esto trae consigo un aumento en el calor para el recinto. El calor a través de los vidrios se calcula mediante la siguiente ecuación:

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

***Ecuación N° 6. Ganancia de calor a través de vidrios por radiación.***

Donde:

- Q: es la ganancia neta por radiación solar a través del vidrio [BTU/h]
- FGCS: es el factor de ganancia máxima de calor solar [BTU/(hft<sup>2</sup>°F)]
- A: el área del vidrio [ft<sup>2</sup>]
- C: es el coeficiente de sombreado

- FCE: es el factor de carga de enfriamiento para el vidrio
  - Alumbrado

La ganancia de calor de un recinto por alumbrado está dada por:

$$Q = 3,41 \times W \times FB \times FCE$$

*Ecuación N° 7. Ganancia de calor por alumbrado.*

Donde:

- Q: es la carga neta de calor debida al alumbrado [BTU/h]
- W: es la capacidad de alumbrado [W]
- FB: es el factor de Balastro
- FCE: es el factor de carga de enfriamiento para el alumbrado

Para la ganancia de calor producida por el alumbrado es importante considerar si el recinto se encuentra con la iluminación activa durante toda la jornada del día o solamente durante algunas horas.

- Personas

La ganancia de calor debida a las personas se compone por un lado de calor latente y otro de calor sensible. La ecuación de calor sensible está dada por:

$$Q_S = q_S \times n \times FCE$$

*Ecuación N° 8. Ganancia de calor sensible por persona.*

La ganancia térmica por calor latente está dada por:

$$Q_L = q_L \times n$$

*Ecuación N° 9. Ganancia de calor sensible por personas.*

Donde:

- QS, QL: es la ganancia de calor sensible y latente [BTU/h]
- qs, qL: es la ganancia de calor sensible y latente por persona [BTU/h]
- n: es el número de personas
- FCE: es el factor de carga de enfriamiento por personas
- Equipos

El cálculo de carga térmica por equipos está dado por:

$$Q_{motores} = 3,41 \times W$$

*Ecuación N° 10. Ganancia térmica por equipos.*

Donde:

- Q: es la carga neta de calor debida a los equipos [BTU/h]
- W: es la capacidad de los motores [BTU/h]

Para aplicaciones como laboratorios, ASHRAE estima una carga de entre 15 y 70 BTU/hft<sup>2</sup>.

En el capítulo 14 del ASHRAE Handbook – HVAC Applications se discute sobre la ganancia térmica por equipos de laboratorios, los cuales varían aproximadamente entre 5-25 W/ft<sup>2</sup>. A modo de conclusión, ASHRAE menciona que los laboratorios y recintos médicos son similares en el hecho de que la carga por equipos puede variar en gran manera, debido a las diversas aplicaciones que se les puede dar.

Por otro lado, en el ASHRAE Fundamentals se menciona que el dato de placa de los equipos rara vez puede utilizarse como el consumo en Watts para el estudio de carga térmica, pues se ha demostrado que, en realidad, los equipos consumen 50% o, más preciso, 25% del dato de placa del equipo (ASHRAE HANDBOOK, 2009). Por último, según ASHRAE, por medio de un estudio de Wilkins y Hosni (2000) y Wilkins y McGaffin (1994), se demostró que también se puede estimar la ganancia de equipos por

unidad de área. Una aproximación es que la ganancia térmica por equipos está dada por  $0.44 - 1.08 \text{ W/ft}^2$ , en que usualmente se estima un valor de  $0.81 \text{ W/ft}^2$ .

### 2.1.7.2. Cálculo de carga térmica por transferencia de calor a los alrededores

Es la ganancia de calor sensible al recinto, la cual se transfiere a través de la estructura hacia los alrededores. Está dada por:

$$F = 1 - 0.02K$$

*Ecuación N° 11. Corrección cada ganancia de calor sensible de recinto.*

$$K = (U_w A_w + U_g U_g) / L$$

*Ecuación N° 12. Conductancia de la unidad de longitud.*

Donde:

- F: es el factor para corregir cada ganancia de calor sensible
- K: es la conductancia de la unidad de longitud [BTU/ (hft<sup>2</sup>°F)]
- L: es la longitud de la pared exterior [ft]
- U<sub>g</sub>, U<sub>w</sub>: son los coeficientes de transferencia de calor, w=pared, g=vidrio [BTU/(hft<sup>2</sup>°F)]
- A<sub>g</sub>, A<sub>w</sub>: son las áreas de la pared o del vidrio [ft<sup>2</sup>]

Las ganancias de calor sensible por conducción, iluminación, radiación solar, personas y equipos se deben multiplicar por 0.94 cada una.

### 2.1.7.3. Carga de enfriamiento

La carga de enfriamiento es la velocidad a la que se debe eliminar el calor del recinto y es la suma de cada una de las ganancias netas corregidas definidas anteriormente. Para facilitar la comprensión de los cálculos se utilizará en este proyecto la nomenclatura de RSHG, RLHG y RTHG para designar el calor sensible, latente y

total, respectivamente. De esta forma se entiende que RTHG corresponde a la carga de enfriamiento total perteneciente al recinto.

#### 2.1.7.4. Carga de refrigeración

La carga de refrigeración se puede entender como la carga a la que se somete el equipo de enfriamiento. Esta carga será mayor que la carga de enfriamiento, debido a que el equipo se ve afectado por factores que incrementan las ganancias de calor, como la ventilación del aire exterior, ganancia de calor a ductos, calor producido por los ventiladores y bombas del sistema de aire acondicionado, y fugas de aire en ductos.

##### a. Ventilación

El ingreso del aire exterior es permitido por razones sanitarias y de confort. Usualmente, los sistemas de aire acondicionado se diseñan considerando el ingreso del aire exterior al recinto. Este ingreso de aire exterior contiene mayor calor sensible y latente que el aire interior, lo que ocasiona un aumento en la carga de enfriamiento que debe considerarse. La carga de enfriamiento por ventilación exterior se calcula de la siguiente manera:

$$Q_s = 0 \times CFM \times CT$$

*Ecuación N° 13. Calor sensible debido a ventilación.*

$$Q_l = 0,68 \times CFM \times (W e' - W i')$$

*Ecuación N° 14. Calor latente dedico a ventilación.*

Donde CT corresponde al cambio de temperatura entre el aire exterior e interior en °F para la carga de calor sensible y W´ corresponde a la relación de humedad exterior e interior.

##### b. Ganancia por ductos.

Dependiendo del diseño que se realice en la distribución de los ductos, puede que sean expuestos dentro del recinto o ubicados en el entre cielo. Si es el caso de que los ductos sean expuestos dentro del recinto acondicionado, ocasionan un efecto útil en

la carga de enfriamiento; sin embargo, el ducto puede atravesar zonas en las que está expuesto a temperaturas superiores y esto aumenta la carga de enfriamiento. Debido a esta situación, existe una carga de enfriamiento ocasionada a la ganancia de calor en ductos, que se calcula de la siguiente manera:

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

*Ecuación N° 15. Ganancia de calor en ductos.*

Donde:

- Q = ganancia de calor del ducto, BTU/h
- U= coeficiente general de transferencia de calor, BTU/
- A= área del ducto
- DT= diferencia de temperatura entre el ducto y los alrededores, °F

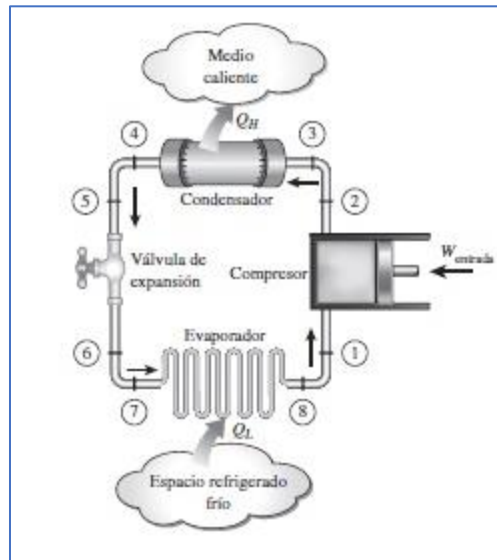
#### **2.1.8. Componentes del sistema de aire acondicionado**

Dado que el proceso de acondicionamiento de aire es un proceso de tipo termodinámico que se estudia por medio de ciclos de refrigeración. Según Bhattacharjee (2016), existen tres principales ciclos de refrigeración: por compresión de vapor, absorción de vapor y refrigeración del gas (p. 383).

El ciclo por compresión de vapor es similar a un ciclo de Rankine inverso, en donde se utiliza un compresor para aumentar la presión del vapor del refrigerante. En el ciclo por absorción de vapor el refrigerante es absorbido por un líquido y una bomba para aumentar la presión. Por último, en el ciclo de refrigeración del gas el fluido de trabajo permanece como un gas durante todo el ciclo (Bhattacharjee, Hernández & Brito, 2016).

Típicamente, en los sistemas de acondicionamiento de aire se utiliza el ciclo de refrigeración por compresión de vapor, en el cual se le conoce al fluido de trabajo como refrigerante y este experimenta alternativamente evaporización y condensación. Para el caso de este ciclo de refrigeración se utiliza como fundamento el ciclo de

Carnot, en que se sustituye la turbina por una válvula de expansión, de lo cual se deriva al siguiente diagrama:

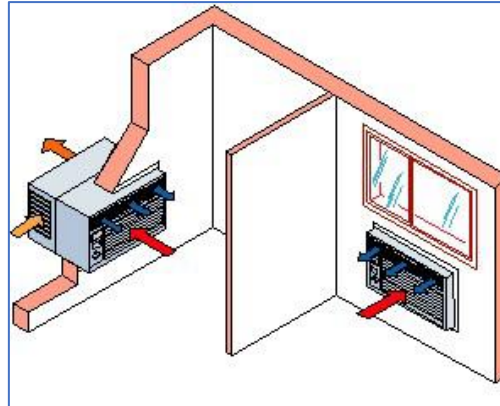


**Ilustración 14.** Ciclo por compresión de vapor. Fuente: <http://rsilvera-utp-fim-refrigeracion.blogspot.com/2015/07/ciclo-real-de-refrigeracion-por.html>

El ciclo se inicia cuando el refrigerante ingresa al compresor como vapor saturado, en donde ocurre una compresión isentrópica hasta la presión del condensador. En este proceso la temperatura del refrigerante aumenta hasta una temperatura muy superior a la temperatura del medio circulante. Seguidamente, el fluido ingresa al condensador como un vapor sobrecalentado y sale como un líquido saturado en el estado 4. En este punto la temperatura del refrigerante se encuentra por encima de la temperatura a los alrededores. Aquí ingresa a la válvula de expansión, donde el fluido alcanza la presión necesaria para ingresar al evaporador. En este proceso la temperatura desciende por debajo de la temperatura del espacio refrigerado. Por último, en la etapa 6 el refrigerante ingresa al evaporador como un vapor húmedo de baja calidad y se evapora por completo, absorbiendo el calor del espacio refrigerado, para luego salir del evaporador como vapor saturado, para ingresar al compresor y repetir el ciclo descrito anteriormente (Çengel & Boles, 2008).

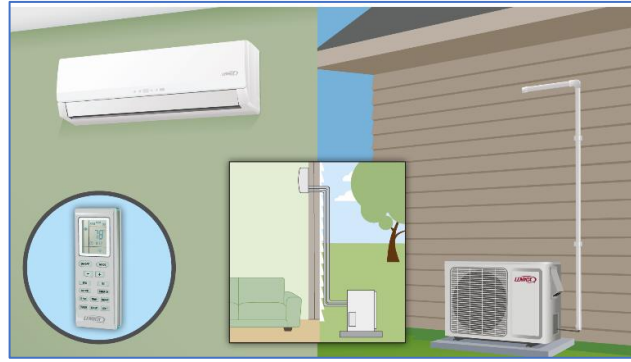
Para llevar a cabo el ciclo de refrigeración antes descrito actualmente se utilizan los siguientes equipos:

➤ **Unidades de ventana.** Estos equipos son del tipo “todo en uno”, es decir, todos sus componentes se encuentran contenidos en una sola caja, lo que hace su instalación muy sencilla. Presentan varias desventajas. Las principales son: que la distribución de aire no es adecuada, son ruidosas y su estética no es la mejor. Por sus características son utilizadas más que todo en hogares u oficinas pequeñas, como una solución de muy bajo costo.



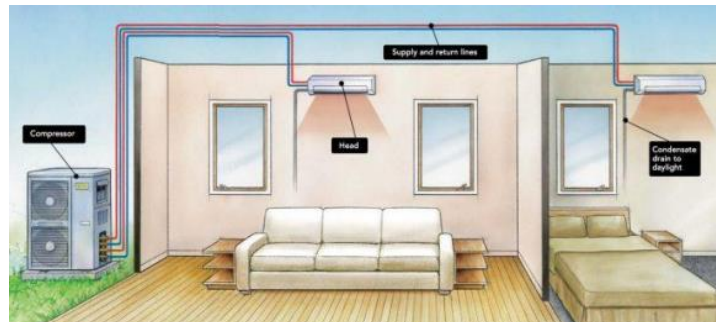
*Ilustración 15. Unidad de ventana. Fuente: internet.*

➤ **Sistemas partidos sin ductos,** conocidos comercialmente con el nombre de “mini-splits”. Consisten en una unidad evaporadora sin ductos que se coloca dentro del espacio que se quiere acondicionar, y una unidad condensadora colocada fuera del edificio. Se requiere una conexión de la tubería del refrigerante entre la unidad evaporadora y la condensadora, por lo que requiere una instalación profesional. Su capacidad alcanza alrededor de 10 kW. Son muy utilizadas en espacios sencillos tales como habitaciones u oficinas, debido a que presentan un costo bajo, un nivel de ruido aceptable y son fabricadas en una gran cantidad de formatos que se pueden adecuar al estilo arquitectónico del recinto.



*Ilustración 16. Miniplits. Fuente: internet.*

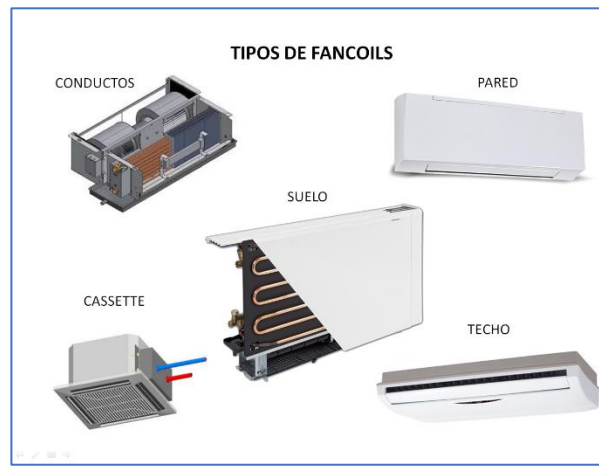
- **Sistemas partidos.** Este sistema es similar al anterior, con la diferencia de que este sí requiere ductos, por lo que puede utilizarse para enfriar varios espacios a la vez. Consta de una unidad interior conocida como evaporador, a la cual se le deben conectar ductos para conducir el aire acondicionado a los espacios y una unidad exterior conocida como condensadora, la cual intercambia calor de rechazo. Se le conoce comercialmente por el nombre de “splits”. Su capacidad alcanza los 105 kW.



*Ilustración 17. Splits.*

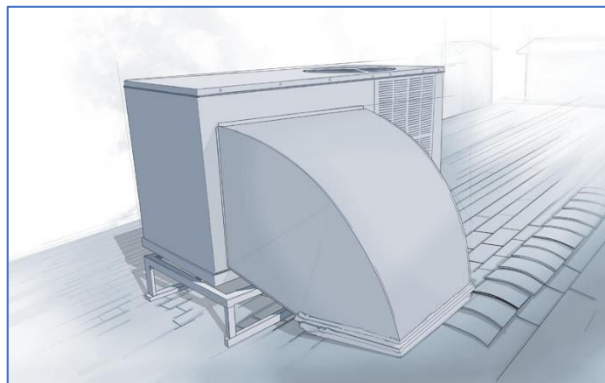
- **Ventiloconvector (fancoil).** Estos dispositivos están compuestos de una batería o intercambiador de frío o calor que utiliza el agua como elemento refrigerante. El dispositivo recibe agua en una enfriadora y lo hace circular por unos tubos. El *fancoil* procederá a impulsar el aire pasándolo por tubos donde circula el agua. Se crea así la termo-transferencia. Finalmente, el aire sale por un filtro de forma fría o caliente en función de la temperatura que se haya establecido. A simple vista estos dos aparatos pueden llegar a parecer lo mismo; sin embargo, cuentan con claras diferencias. La primera diferencia es que los elementos splits son unidades

aire-aire, mientras que los fancoil, como se ha mencionado anteriormente, son agua-aire.



*Ilustración 18. Fancoil.*

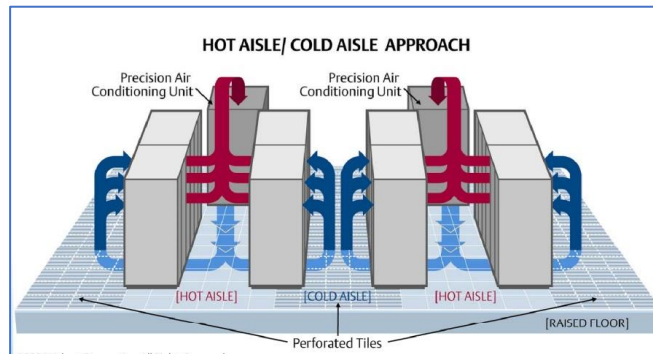
➤ **Paquetes de techo y unidades autocontenidas.** Estos sistemas son paquetes que tienen la unidad condensadora y la evaporadora en una sola carcasa. Están diseñadas para instalarse expuestas al ambiente y generalmente sobre un techo plano. La alimentación y el retorno del aire hacia el edificio se da a través de aberturas en el equipo, a las cuales se les deben conectar el sistema de ductos de distribución de aire. En el país se utilizan más que todo en restaurantes y tiendas de centros comerciales.



*Ilustración 19. Paquetes de techo y unidades autocontenidas.*

➤ **Unidades de precisión.** Son equipos de refrigeración diseñados para entregar un control preciso de la temperatura y la humedad en todas las aplicaciones en las

que se necesita un grado de precisión elevado. Las áreas de aplicación de estos equipos son básicamente: espacios de cómputo, salas de informática, salas con equipo electrónico, cuartos de control o áreas en donde por algún requerimiento o necesidad se deben controlar simultáneamente temperatura y humedad.



*Ilustración 20. Unidad de precisión.*

➤ **Unidades manejadoras de aire.** Una unidad manejadora de aire es un sistema el cual utiliza agua como medio para la transferencia de calor. Esta agua se hace pasar por un serpentín, el cual intercambia calor con el aire del recinto, el cual es forzado a pasar a través de él por medio de un abanico. Las unidades de abanico y serpentín que están en los recintos pueden requerir la instalación de ductos para la distribución del aire, o pueden suministrar aire acondicionado de forma directa al recinto. Estas unidades se fabrican en gran cantidad de formatos para adaptarse a los requerimientos de los diferentes recintos, desde tamaños compactos sin ductos, hasta unidades hechas a pedido con accesorios adicionales.



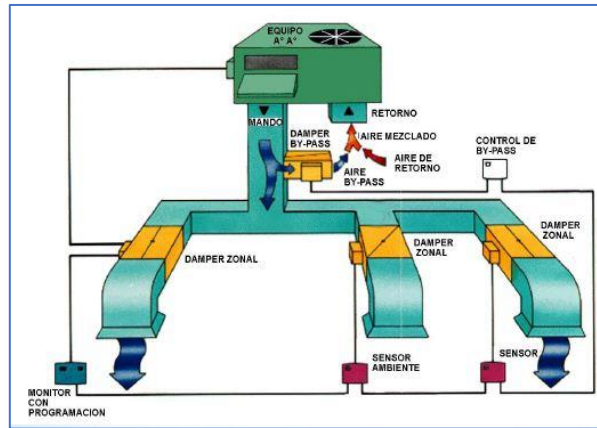
*Ilustración 21. Unidad manejadora de aire.*

➤ **Plantas de enfriamiento (chiller).** Una planta de enfriamiento o chiller es un equipo cuya función es dar el enfriamiento requerido al agua utilizada en un sistema de agua helada. Internamente, la planta de enfriamiento lleva a cabo un ciclo de refrigeración, necesario para tomar el calor del agua helada que va hacia las unidades manejadoras y expulsarlo hacia el ambiente, ya sea de forma directa o por medio de otro lazo de agua adicional. El equipo consta de dos intercambiadores de calor (un evaporador y un condensador), uno o varios compresores, y el sistema de control. Son equipos robustos, diseñados para llevar cargas de enfriamiento grandes, diseñados para vida útil bastante larga. A pesar de que su costo inicial es alto, generalmente el costo operativo a lo largo de su vida útil hace de un sistema enfriado por agua la mejor elección para aplicaciones de acondicionamiento de aire cuya carga térmica lo amerita.



*Ilustración 22. Chiller.*

➤ **Sistemas de volumen variable.** Los sistemas de volumen variable (por sus siglas en inglés VAV, Variable volumen) operan mediante una variación en el flujo de suministro de aire, según la reducción de la carga demandada en cada uno de los recintos, con el fin de conservar las condiciones de confort climático. Los sistemas de este tipo poseen la capacidad de regular la velocidad del compresor para que trabaje a una velocidad constante, sin arranques ni parones bruscos. Estos dispositivos disminuyen la velocidad del compresor del aire acondicionado hasta el mínimo necesario y la mantiene para conservar un ambiente agradable. A esto se le conoce como tecnología *inverter*.



*Ilustración 23. Sistemas de volumen variable.*

Como parte importante de estos equipos para climatización se deben mencionar las tuberías de refrigeración, las cuales se encargan de transportar el refrigerante por medio de compresor, condensador, válvula de expansión y el evaporador. Todos estos componentes requieren del fluido de refrigeración para funcionar correctamente y cumplir con el ciclo termodinámico. La complejidad de las tuberías puede variar según lo desee el diseñador; sin embargo, típicamente se considera una tubería de líquido y una tubería de gas. Como aspectos importantes de tomar en consideración para el diseño de las tuberías de refrigeración se enlistan los siguientes: el material, las propiedades del fluido, la temperatura, la presión, la exposición a la oxidación o corrosión.

Otro componente principal del sistema de aire acondicionado es el conjunto de ductos que trasladan la climatización a través del edificio. Generalmente el diseño de los sistemas de ductos se realiza con base en las normas de ASHRAE y SMACNA HVAC Duct System Design Manual. Según SMACNA (1995), en las que se consideran aspectos como estabilidad dimensional (deformación y esfuerzo), contención del aire que se transporta (evitar la fuga de aire en uniones), vibración y fatiga, ruido, exposición del ducto ante condiciones adversas (daño, fuego, contaminantes atmosféricos, bacterias, viento, entre otros), soportería, contención ante sismo y conductividad térmica. (pág. 29). El diseño de los ductos de aire acondicionado se puede realizar de distintas maneras. Las más comunes son por cantidad de aire (valor medido en CFM's) o por velocidad de aire (usualmente medido en fpm).

Además de la velocidad y la cantidad de aire, para el diseño de ductos de aire acondicionado y extracción se requiere la pérdida por fricción. Típicamente, la pérdida por fricción se mide en in wg por cada 100 de ducto recto. Se recomienda, a la hora de diseñar una pérdida para suministro de 0.1 in wg / 100 ft y 0.08 in wg / 100 ft, para los ductos de retorno y extracción.

Adicionalmente, el sistema de acondicionado se compone de *dampers*, rejillas y difusores, los cuales tienen como función principal controlar el flujo de aire que pasa a través de los ductos. Los *dampers* se pueden entender como compuertas de balance que por medio de un actuador (puede ser manual o automático) se abren o cierran con el fin de regular el paso del aire. Los difusores se instalan típicamente en el cielo y se encargan de distribuir el aire en la zona en que se desea acondicionar. Las rejillas son utilizadas para retornar el aire a la máquina para recircularlo y renovarlo.

Por otro lado, estos accesorios también permiten controlar las presiones positivas o negativas, según se desee, que ingresan o salen del recinto por acondicionar. Esto es muy utilizado en el caso de cuartos limpios, en donde se desea tener una presión positiva para evitar el ingreso de partículas contaminantes de otros recintos al entrar o salir del lugar.

Por último, el sistema de aire acondicionado requiere de líquido refrigerante para su funcionamiento como equipo de refrigeración. Según menciona Almiñana (2007), los refrigerantes son sustancias capaces de absorber o liberar calor en el margen de temperaturas deseadas, mediante un cambio de fase. Al pasar de líquida a fase de vapor se aporta energía y por consiguiente el refrigerante absorbe calor del medio que lo rodea, mientras que al pasar de la fase de vapor a la líquida se libera energía y, de seguido, cede el calor al medio que lo rodea (cap. 2)

Según menciona este autor, los refrigerantes “definitivos” corresponden al R-410A y al R-417A para equipos residenciales e industriales. La necesidad de seleccionar con detenimiento el refrigerante que se va a utilizar para el sistema de aire acondicionado consiste en responsabilidad social y eficiencia del sistema que se va a implementar.

## 2.2. Auditoría energética

La auditoría energética es una herramienta que permite el análisis sistemático de la situación energética específica de una empresa o institución, con el propósito de conocer su desempeño energético actual, comparable con una fotografía/radiografía, por lo cual comúnmente se habla también de un diagnóstico energético. Sus principales objetivos son:

- Conocer el comportamiento del consumo y los gastos energéticos de la institución.
- Identificar los principales usos de energía en procesos y actividades.
- Conocer el nivel de eficiencia con el que se usa y aprovecha la energía a nivel general y en los principales equipos o maquinaria, o en ambos, en donde se requiere energía para su funcionamiento y para las prestaciones que ofrece.
- Identificar y priorizar oportunidades para la mejora del desempeño energético, que ayude, además, a la obtención de ahorros económicos, reducción de impactos ambientales y otras mejoras como aspectos de seguridad laboral o de la imagen de la institución.

De acuerdo con NIRAS IP CONSULT GmbH (2019, páginas 1 y 2) debe tomarse en cuenta que las acciones aisladas orientadas a mejorar la eficiencia energética solo logran cubrir una parte del potencial de ahorro, y no garantizan su sostenibilidad.

Es oportuno mencionar que el término auditoría, por lo general despierta la susceptibilidad de máximas autoridades de las instituciones o de los propietarios de las empresas, puesto que ellos asocian esta palabra con las funciones que cumplen algunas instituciones de control para verificar los estados financieros de las empresas. Por esta razón, en algunos casos, es recomendable utilizar la expresión diagnóstico energético. En este contexto vale mencionar que la auditoría energética (o diagnóstico energético) no debe confundirse con una auditoría a un sistema de gestión (ambientales, de calidad o de energía). En tanto, la auditoría energética tiene como objetivo la evaluación técnica de la situación energética de la institución. El objetivo de una auditoría a un sistema de gestión es la evaluación de la conformidad con una norma o reglamento.

La auditoría energética se refiere a una evaluación, estudio o análisis de los flujos de energía del proceso en sus instalaciones originales, que consta de equipos en operación e instalaciones eléctricas completas. Los resultados de esta evaluación presentan una serie de recomendaciones que contemplan la aplicación de acciones preventivas y correctivas, que permitirán al implementarlas asegurar la eficiencia global de la empresa, disminuir las emisiones contaminantes de la atmósfera y mejorar las condiciones operativas y ambientales con un enfoque en seguridad y salud ocupacional. (Zelaya, 2015, página 64).

¿Por qué el uso racional y eficiente de la energía?

De acuerdo con Prada O. D, Muñoz L. I y. Berón S. J. V. (2007, páginas 7), el concepto de uso racional y eficiente de la energía (URE) se define conceptualmente “como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, fundamental para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía, la protección al consumidor y la promoción del uso de energías no convencionales de manera sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales”.

Además, lo define como “el aprovechamiento óptimo de la energía en todas y cada una de las cadenas energéticas, desde la selección de la fuente energética, su producción, transformación, transporte, distribución, y consumo, incluida su reutilización cuando sea posible, buscando en todas y cada una de las actividades de la cadena el desarrollo sostenible”. También el URE es sinónimo de: ahorro de energía, sustitución de energéticos, generación eficiente de energía, mantenimiento de equipos.

Según la definición de la OLADE (Organización Latinoamericana de Energía), el URE es “... el proceso político, económico, tecnológico, y administrativo, mediante el cual un país va ajustando la estructura productiva de su sector energético a su dotación de recursos y a criterios elementales de eficiencia, a sus patrones de consumo, a la estructura de su oferta, a ese nivel de desarrollo, y a principios de justicia; de modo que con la cantidad limitada de que dispone vaya satisfaciendo las necesidades de su propia economía y asegurando a cada ciudadano la cantidad y calidad mínima de energía necesaria para su integración y productividad en la sociedad” (Seminario de Lima 1983).

El URE beneficia a las personas y a la industria porque les permite reducir el presupuesto de gastos y de esta manera contribuye a liberar recursos financieros para cubrir otras necesidades de la población. Usar eficientemente la energía significa evitar desperdiciarla y realizar las actividades con el mínimo de energía posible. El URE es una oportunidad para reducir los impactos negativos en el ambiente.

Por ello, el análisis del URE en una industria incluye temas relacionados con el consumo energético como:

- Análisis del sistema de alimentación eléctrica.
- Análisis de la instalación eléctrica desde la acometida.
- Análisis de los puntos en los que se utilice la energía eléctrica en transformadores, motores, iluminación, conductores, entre otros.
- Análisis del sistema de generación de vapor.
- Análisis del sistema de ventilación y aire acondicionado.
- Análisis del sistema de red regulada.
- Estudio de la iluminación.

### **2.2.1 Clasificación de la auditoría energética**

Según el estándar 100-2015 ASHRAE/IES de la Asociación Americana de calefacción, refrigeración y aire acondicionado Standard 100-2015. Para procedimientos de auditorías energéticas en edificios comerciales los niveles de esfuerzo de una auditoría se distinguen de acuerdo con la siguiente clasificación:

- Auditoría Nivel 1: Auditoría preliminar en la cual se realiza un análisis cualitativo de la institución que va a ser auditada. Se basa en la comparación de los consumos históricos de energía y, generalmente, se identifican medidas de bajo costo.

- Auditoría Nivel 2. Se trata de una auditoría detallada que incluye el establecimiento de una línea base (mediciones) sobre la cual se efectúan las recomendaciones y se calcula el ahorro de energía y el ahorro económico. Las recomendaciones tienen alto potencial de ahorro.
- Auditoría Nivel 3. Auditoría especial basada en un enfoque de desarrollo de proyectos y minimización de riesgos que incluye, principalmente: el costo real del proyecto, el desarrollo de las medidas a nivel de ingeniería preliminar, medición del consumo energético por hora, análisis económico financiero.

La norma ISO 50002 cuenta también con una clasificación similar a la de la ASHRAE/IES 100-2015 y distingue entre auditorías de los tipos 1, 2 y 3.

### **2.2.2 Etapas o pasos de la auditoría energética**

De acuerdo con NIRAS IP CONSULT GmbH (2019, página 3), para llevar adelante una auditoría energética es necesario seguir un conjunto de pasos o etapas que permitan su aplicación de manera sistemática y permitan alcanzar los resultados de una manera satisfactoria. El auditor energético o el responsable del equipo auditor es el encargado de planificar cada uno de los pasos por seguir y de controlar su adecuada ejecución.

Las etapas por seguir son:

#### **1. Planificación de la auditoría.**

Para iniciar la auditoría energética y asegurar su realización es necesario contar con el compromiso de la máxima autoridad de la institución. Si la iniciativa de desarrollar este programa proviene de esta instancia, entonces el compromiso estaría asegurado. Pero si la iniciativa proviene de otro funcionario o de alguna otra instancia, es necesario conseguir el compromiso de la máxima autoridad.

Se considera que existe compromiso cuando se cuenta con un responsable de coordinar el desarrollo de la auditoría energética nombrado por esta. El auditor o equipo auditor tiene que coordinar, con la o las personas responsables de parte de la institución, una reunión de inicio en la cual se tratarán los siguientes temas:

- Presentación formal del auditor o equipo auditor.
- Identificación del objetivo y del alcance de la auditoría energética (incluyendo áreas específicas de interés, si cabe) junto con la definición del nivel/tipo de auditoría que va a ser realizada.
- Definición de la información necesaria para que el auditor realice un análisis preliminar y formule las primeras hipótesis.
- Elaboración de un cronograma que incluya el detalle de las fechas para la entrega de información de parte de la institución, la presentación del plan de medición de parte del auditor, el desarrollo del trabajo de campo, la presentación de resultados, entre otros.
- Planificación y ejecución de una visita preliminar a las instalaciones con el objeto de cuantificar equipos, cantidad de personal, identificación de posibles puntos de medición, entre otros.

Como evidencia (respaldo) de la planificación se debe contar con un cronograma del trabajo por desarrollarse acordado/consensuado entre todas las personas involucradas con responsabilidades definidas.

## 2. Reunión de inicio.

La información que proporcione la empresa o institución, junto con las mediciones que se realicen en la planta, constituye la base fundamental de la auditoría. El conocimiento de las cantidades de energía que se utilizan, los gastos que corresponden a ese consumo y la forma de utilizar la energía permitirán tener un primer escenario de análisis que debe realizarse antes de llevar a cabo las actividades de auditoría en la empresa o institución propiamente.

Es conveniente que el equipo técnico encargado de la auditoría pueda contar con la mayor cantidad de información necesaria y pertinente, y que esta sea procesada y analizada antes de iniciar los trabajos de medición o entrevistas en la planta.

El resultado de un adecuado tratamiento de la información permitirá al equipo de auditores tener un cuadro de situación o estado del arte, relacionado con el uso de la energía en la empresa, y ayudará en la identificación inicial de los posibles problemas de ineficiencia, sus causas y las posibles soluciones. Se pueden reconocer tres partes en la recolección de información: documentación relacionada con el consumo y uso de energía, información adicional general sobre las normativas o legislaciones que rigen en la región en donde está ubicada la empresa, y visita preliminar o prediagnóstico.

### 3. Plan de medición.

La sistematización u organización de la información proporcionada por la empresa, la información adicional recabada por los auditores y los resultados y observaciones de la visita preliminar permitirán al equipo técnico encargado de la auditoría contar con un panorama inicial de la situación energética de la institución, y ayudará a establecer un conjunto de hipótesis de trabajo que se plasmarán en el plan de medición, el cual, además de lo expresado, contará con la siguiente información:

- Fecha en la cual se realizará la instalación de equipos.
- Detalles de los puntos en los cuales se instalarán los equipos, incluida la información del tiempo que permanecerán ahí.
- Solicitud de apoyo del personal técnico de la institución para realizar la instalación.
- Si el caso lo requiere, solicitud de permiso para ingresar a las áreas restringidas.

El plan será presentado al responsable de la institución para que la auditoría energética se realice sin contratiempos.

4. Trabajo en planta, verificación de la información, recolección de información adicional y mediciones en terreno.
5. Tratamiento de la información y preparación del informe de auditoría energética.

Como se verá, la identificación de posibles ineficiencias, así como las correspondientes recomendaciones que emanen de la auditoría energética y que estén destinadas a superarlas, están orientadas al trabajo en escenarios que deben orientar las actividades de campo y que facilitarán el trabajo posterior de análisis y confección del informe final, a saber:

- a.** El manejo interno del uso de energía. Se refiere a la identificación de posibles ineficiencias relacionadas con procedimientos internos que determinen el uso de la energía en la empresa.
- b.** Las condiciones externas del consumo de energía. Se refiere al análisis de posibles ineficiencias que se originan en situaciones no relacionadas con la tecnología que usa la institución ni con la gestión propiamente; entre ellas las características de la infraestructura y su entorno, o el suministro de la energía por parte de los proveedores.

## **6.** Elaboración del informe.

La información que los auditores han podido obtener a partir de mediciones y observaciones durante el trabajo en planta debe ser tratada ya durante el trabajo de campo. De esta manera es posible confeccionar, al finalizar el trabajo en planta, un informe preliminar que dé cuenta de los principales hallazgos y de las recomendaciones de oportunidades de mejora. Las oportunidades de mejora pueden implicar potenciales reducciones del consumo actual de energía, la disminución de potenciales demandas futuras de energía como mejoras del confort o mejoras tarifarias sin efectos energéticos. Este informe preliminar deberá ser explicado y puesto en consideración del personal técnico de la institución y de sus principales autoridades el último día del trabajo en planta. De esta forma es posible integrar los ajustes necesarios al informe final y consolidarlo antes de su presentación a la gerencia.

Entre los temas más relevantes en la sistematización de la información se destacan: análisis de la provisión y consumo de energéticos, balance energético, indicadores de desempeño, análisis de las características del consumo de la energía y definición de posibles recomendaciones y oportunidades de mejora del desempeño energético.

## 7. Presentación de los resultados y reunión de cierre

Una vez que se han discutido los resultados presentados en el informe preliminar, según se describió en el acápite anterior, y habiendo tomado en cuenta las opiniones de los técnicos y autoridades de la institución auditada, debe procederse a la confección del informe final.

El informe final debe contener como elementos centrales:

- i. Los resultados obtenidos durante la auditoría, el análisis del consumo y uso actual de la energía en la institución, es decir, la sistematización y procesamiento de la información proporcionada y de las mediciones y observaciones de campo.
- ii. Las recomendaciones destinadas a mejorar el desempeño energético de la institución, que muestre las oportunidades de ahorro de energía y su factibilidad técnica y económica, y los beneficios ambientales.
- iii. Las conclusiones y recomendaciones finales en relación con la implementación de potenciales medidas identificadas y los próximos pasos. En este último punto se debe hacer también referencia a otros posibles estudios complementarios, si fuese el caso.

El informe debe ser presentado en un formato claro, conciso y fácil de entender. Debe contener la información necesaria en cada una de las recomendaciones sugeridas y acompañar las explicaciones, cuadros, gráficos y memorias de cálculo que sean necesarias.

### 2.2.3 Eficiencia energética

De acuerdo con lo expuesto en la revista *Escenarios y Estrategias de la Unidad de Planeación Minero-Energética* (UPME), el uso eficiente de la energía “es una noción utilizada para referirse a los resultados obtenidos, después de aplicar medidas conducentes a reducir su consumo”.

Cuando la disponibilidad de recursos naturales y energéticos es cada vez menor, la necesidad de realizar un proceso de desarrollo sostenible para la sociedad hace que en toda actividad se busque la eficiencia, entendida como conseguir más y mejores resultados con menos

recursos, lo cual se expresa en menores costos de producción. Hacer uso de la eficiencia energética produce ahorros energéticos, circunstancia que se hace más favorable mediante la combinación de fuentes energéticas menos costosas y la adopción de tecnologías que hacen uso eficiente de la energía.

La eficiencia energética puede definirse como la: “reducción del consumo de energía manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir nuestro confort y calidad de vida, protegiendo el medio ambiente, asegurando el abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible en su uso”.

En el sector industrial las tecnologías que hacen uso eficiente de la energía pueden ayudar a los países en desarrollo a lograr el crecimiento económico y a mejorar el nivel de vida, y simultáneamente contribuir a la reducción de gases responsables de efecto invernadero.

En este sentido, en América Latina la eficiencia energética y las energías renovables presentan un potencial importante para mitigar los efectos negativos del consumo energético en continuo incremento, inducido tanto por el crecimiento económico como por la transformación de las sociedades hacia modelos energo-intensivos.

La eficiencia energética no es solo cuestión de poseer las últimas tecnologías sino de saber emplear y administrar los recursos energéticos disponibles de un modo hábil y eficaz, lo que requiere desarrollar procesos de gestión de la energía.

El uso eficiente de la energía surge como requisito ineludible para todos los actores del mercado energético: productores, consumidores, reguladores, y es una solución concreta que contribuye a una mayor equidad intergeneracional, a mejorar la competitividad de la economía, a disminuir los impactos ambientales derivados de una menor producción y consumo de energía, y a reducir a lo estrictamente necesario la expansión que naturalmente requiere el sistema eléctrico nacional.

La eficiencia energética produce, entre otras, las siguientes ventajas:

- Menores costos de producción al consumir menos energía por unidad producida.

- Mayor capacidad de generación disponible, lo cual permite la utilización del sistema eléctrico disponible para otros usos.
- Menor desperdicio de energía y de polución.

¿Cómo evaluar la eficiencia energética?

Una forma de evaluarla es establecer indicadores que se puedan controlar y comparar, los cuales dependen de la actividad que se desea evaluar. De esta forma se pueden definir indicadores de acuerdo con cada proceso productivo para su evaluación.

### **2.2.3.1 Parámetros de eficiencia energética en equipos de aire acondicionado**

Para categorizar la eficiencia energética de los sistemas de aire acondicionado el Instituto de Aire Acondicionado y Refrigeración (ARI) y ASHRAE proponen los siguientes parámetros:

- COP: Este parámetro se refiere al cociente de la extracción de calor y la energía suministrada en términos de las mismas unidades y se define como el coeficiente de operación, por sus cifras en inglés).
- EER se refiere al radio de eficiencia energética y es el cociente entre la capacidad de retirado enfriamiento en BTU/h, y la energía suministrada al equipo en W El EER se puede calcular a partir del COP, multiplicándolo por 3,413.
- SEER: se refiere al radio de eficiencia energética estacional y es el cociente entre el enfriamiento producido en un año expresado como (BTU) y los kW-h consumidos en un año. Se utiliza principalmente en equipos con capacidades menores a 19,05 kW (65000 BTU/h).
- IPLV: se refiere al valor integrado de la carga de enfriamiento por partes en el edificio y es usado principalmente en cargas comerciales con capacidades mayores a 19,05 kW (65000 BTU/h).

Los fabricantes ponen en el mercado una gran variedad de equipos con diferentes capacidades y eficiencias. Es posible encontrar sistemas con EER tan altos como 12,5. Generalmente

cuanto más alto es el valor de la EER más caro es el equipo, ya que tienen superficies de transferencia de calor más grandes, motores más eficientes y mejor tecnología (Capehart, 2007).

#### **2.2.4 Ahorro energético**

Desde el punto de vista económico, Prada O. D, Muñoz L. I y. Berón S. J. V. (2007, página 12 indican que los recursos energéticos son bienes relativamente escasos y, por tanto, sin reducir la calidad de vida su uso debe ser racional, que se debe evitar el despilfarro, porque para los próximos veinte años se prevé que el consumo energético en escala mundial aumentará en 50%.

El ahorro y la eficiencia energética están relacionados con hábitos, comportamientos y actividades productivas, de tal forma que hacer buen uso de la energía genera ahorro económico en el consumidor y es un importante aporte a la energía, a la economía y al ambiente del país.

El ahorro energético industrial es tal vez el principal aspecto por considerar para afrontar los retos de la competitividad y el desarrollo que se plantean en el ámbito empresarial; retos que sugieren la necesidad de asumir a este nivel planes de ahorro energético que se materialicen en ahorros económicos importantes, que puedan gestionarse posteriormente como partidas económicas adicionales orientadas al esfuerzo o ampliación de las actividades empresariales, o incluso a la creación de nuevas.

## **Capítulo 3. Marco metodológico**

### **3.1. Enfoque de la investigación**

El presente proyecto se desarrolla bajo el enfoque cuantitativo no experimental de acuerdo con los tipos de enfoque descritos por el Dr. Roberto Hernández, Carlos Fernández y Pilar Baptista, (2014) en su libro **Metodología de la investigación** (p.4), ya que los objetivos que se pretende alcanzar son específicos, medibles y realistas, al buscar obtener un panorama actual del desempeño del sistema de aire acondicionado del edificio de las oficinas centrales del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, mediante la recolección de datos, comparación de condiciones actuales y análisis de resultados para emitir conclusiones que puedan estimar las mejoras por implementar en el sistema.

### **3.2. Método de la investigación**

Con el fin de verificar el desempeño del sistema de aire acondicionado del edificio de las oficinas centrales del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, se empezará con la actualización de los inventarios de equipos y de los planos constructivos del edificio, para así poder contar con los parámetros de diseño reales del edificio y poder compararlos con las condiciones actuales del sistema de aire acondicionado.

Una vez definidos los parámetros de diseño requerido para el sistema de aire acondicionado del edificio se presentará como parte de la auditoría energética un compilado de conclusiones que orienten a la institución hacia el ahorro energético.

En el presente caso el proyecto es de tipo no experimental transversal. Esto debido a que el proyecto se refiere a una propuesta de mejora energética en el sistema de aire acondicionado, en un periodo, y a la relación entre variables sin manipularlas, sino que se va a realizar mediante el estudio técnico.

### **3.3. Fuentes de información**

En la elaboración de este proyecto se utilizaron mayormente fuentes secundarias de información, libros de ciencias básicas; física y termodinámica y manuales ingenieriles específicos en la materia; normas y guías de ASRAHE. Se obtuvo información documentada en publicaciones, medios electrónicos, ensayos y tesis de distintas universidades, así como

también antologías y revistas sobre la materia de la que se obtuvo la información necesaria para realizar cálculos, analizar datos y comprobar las conclusiones.

### 3.4. Variables o unidades de análisis

La determinación de las variables o unidades de análisis es la que se presenta a continuación detallada mediante una matriz de conceptualización, investigación de enfoque cuantitativo. Se compone de seis columnas, objetivos, variables, indicadores y las definiciones conceptuales, operacionales e instrumentales para la recolección de los datos.

En esta matriz de variables se presentan los objetivos específicos que se desarrollaron en el capítulo I del proyecto. En la primera columna se va a detallar cada objetivo para desglosarlo en las subsiguientes.

*Tabla N° 1. Descripción de variables o unidades de análisis para el enfoque cuantitativo. Fuente: creación propia.*

<b>Objetivo</b>	<b>Variable</b>	<b>Indicador</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Definición instrumental</b>
Realizar un inventario de los equipos que forman parte del sistema de aire acondicionado y catalogarlos de acuerdo con sus características.	Edificio de oficinas centrales del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica.	Observación de los equipos existentes y sus características.	Cantidad y tipos de equipos instalados.	Por medio de la actualización del inventario de equipos incluyendo un detalle las condiciones actuales.	Se utilizará el inventario existente y visitas de campo.
Recopilar de la información requerida para el auditaje del sistema de aire acondicionado.	Edificio de oficinas centrales del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica.	Levantamiento de distribución arquitectónica actual y carga de ocupantes.	Determinar la cantidad de aposentos y ocupación de estos.	Con la actualización de los planos existentes.	Se utilizarán los planos existentes y se contabilizaron los ocupantes por aposento.
Verificar el desempeño actual del sistema de aire acondicionado del edificio.	Análisis de resultados.	Revisar los parámetros de diseño actuales del edificio.	De acuerdo con el análisis de resultados, definir oportunidades de mejora.	Con el análisis de resultados.	Resultados entregados por la recolección de datos y análisis de condiciones ideales del edificio.
Presentar las oportunidades de mejora para el desempeño del	Análisis de datos	Presentar opciones de mejoras que	De acuerdo con el análisis de resultados,	Con el análisis de resultados.	Resultados entregados por la recolección de

<b>Objetivo</b>	<b>Variable</b>	<b>Indicador</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Definición instrumental</b>
sistema de aire acondicionado del edificio.		mejoren la eficiencia	definir oportunidades de mejora.		datos y análisis de condiciones ideales del edificio.
Cotizar la implementación de las diferentes oportunidades de conservación de energía realizando su análisis desde el punto de vista financiero.	Análisis de datos.	Consumos que refleje un cambio en el costo de operación del sistema.	Mediante el análisis de resultados, evidenciando un cambio en el costo operativo del sistema.	Con el análisis de resultados y las mejoras propuestas.	Resultados entregados por la recolección de datos y análisis de condiciones ideales del edificio. Propuestas de mejora en los equipos.

### **3.5. Instrumentos**

Como parte de los insumos que se utilizarán para la recolección y proceso de datos se realizarán visitas de campo y con base en ellas se actualizarán los inventarios y planos existentes. Con estos datos se aplicará implementará un programa de cálculo del sistema de carga térmica.

### **3.6. Proceso de recolección y análisis de datos**

Se empezará con la recolección de datos en la edificación, la actualización de inventarios, la definición de la carga de ocupantes del edificio, el tipo de fuentes de calor internas, los datos climatológicos de la zona en donde se ubica el edificio y los materiales y elementos constructivos del edificio, según se describe en el apartado 2.1.7 del presente proyecto. Una vez con esta información se realizará un análisis de carga de calor mediante una memoria de cálculo para determinar los parámetros de diseño.

Según los cálculos de carga térmica individual por recinto se asignará a cada uno el caudal de aire demandado y se verificarán las condiciones requeridas en recintos seleccionados. Una vez obtenidos estos datos se revisará, con respecto a lo instalado actualmente, cuáles pueden ser las oportunidades de mejora que se pueden implementar para el aprovechamiento de los sistemas en uso.

Se elaborarán complementos a los planos incluidas las listas de materiales y equipos, las capacidades de elementos y accesorios y los detalles de construcción pertinentes, para entregarlos a la institución y que se cuente con la información actualizada del sistema para su uso pertinente.

## **Capítulo 4. Análisis de la situación**

En el presente trabajo de investigación se desarrolla lo que es una auditoría energética según se establece en el capítulo 2, dividida en etapas o fases que permitan su aplicación de manera sistemática y ayuden a alcanzar los resultados de una manera satisfactoria.

La auditoría se compone de cuatro fases que permitieron conocer el comportamiento del consumo y los gastos energéticos de la institución, así como identificar los equipos utilizados en el edificio y sus principales características, conocer el nivel de eficiencia con el que se usa y aprovecha la energía mediante los equipos de aire acondicionado e identificar y priorizar oportunidades para la mejora del desempeño energético, que ayude, además, a la obtención de ahorros económicos, reducción de impactos ambientales y otras mejoras como aspectos de seguridad laboral o de la imagen de la institución.

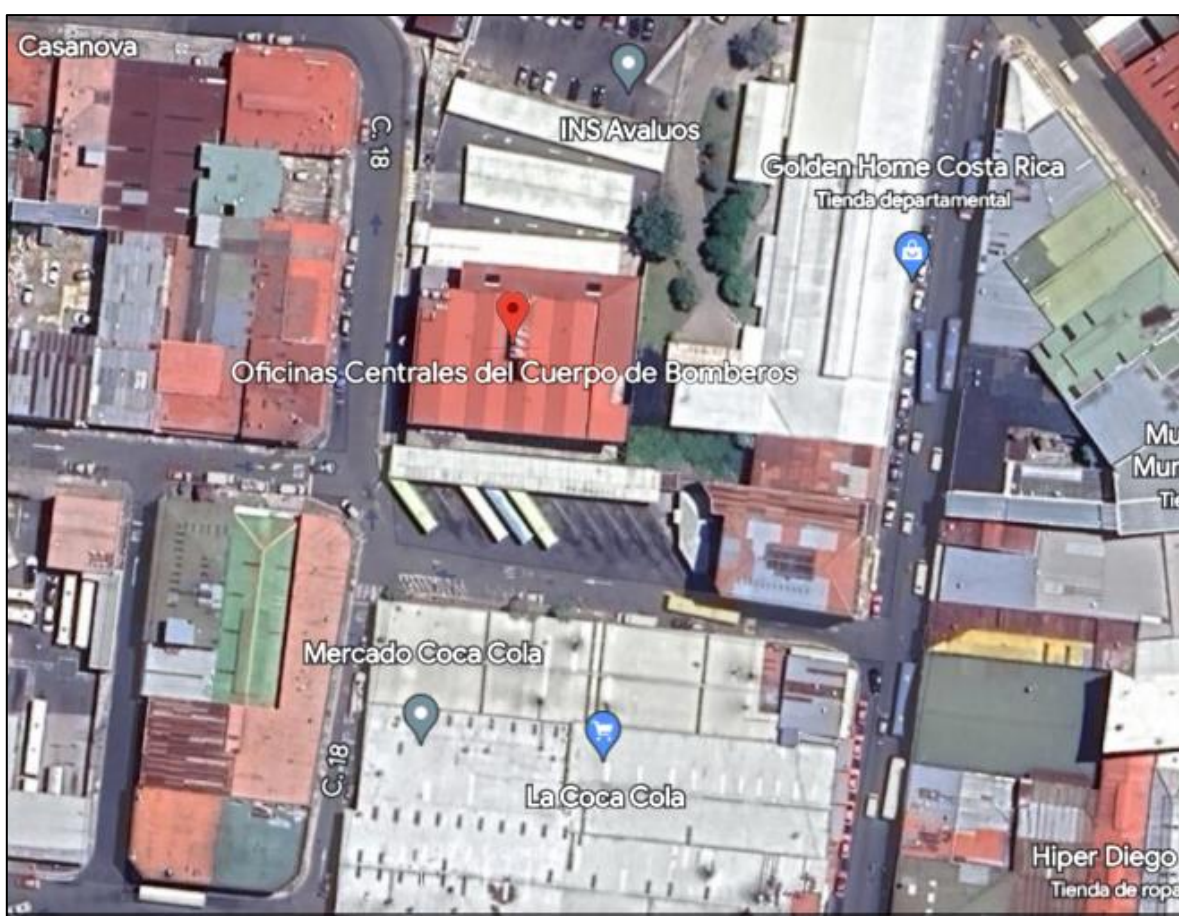
#### **4.1. Fase I: Recopilación inicial de información**

En esta primera fase se reúne la información general de la edificación por auditar, lo que se hace mediante un detalle de su ocupación y uso, así como de los equipos que se requieren para el auditaje. Como se estableció en el capítulo I del presente trabajo, la expansión del sistema de aire acondicionado en el edificio de las oficinas centrales del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica no obedece a ningún parámetro de diseño más que a la necesidad de los ocupantes para cuando sea requerido. Bajo esta premisa se decide realizar una revisión del sistema bajo la guía de una auditoría energética, en donde se debe revisar la totalidad de los aposentos del edificio, así como todos los equipos necesarios en el sistema de acondicionamiento de estos espacios. El edificio en su totalidad se encuentra climatizado.

De seguido se presenta la información general de la edificación por auditar:

- **Empresa:** Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica.
- **Edificio / Sede:** Edificio Oficinas Centrales.
- **Año de construcción:** 2009 con remodelaciones en 2012 y 2018.
- **Área constructiva:** 4500 m<sup>2</sup>.
- **Niveles:** 3 y un sótano.

- **Ocupación<sup>1</sup>:** Negocios.
- **Uso<sup>2</sup>:** Negocios.
- **Aposentos:** oficinas, salas de reuniones, cuartos electromecánicos, comedores, bodegas, sala de ventas, áreas para acondicionamiento físico y espacios de parqueos.
- **Áreas por auditar:** Todo el edificio.
- **Equipo o sistema auditado:** Sistema de aire acondicionado.



**Ilustración 24.** Ubi cación georreferenciada del edificio auditado.

---

<sup>1, 2</sup> La clasificación de la ocupación y uso del edificio por auditar se basa en el código NFPA 101 Código de Seguridad Humana, ya que la clasificación dada por este código asocia las características comunes y cotidianas de uso del edificio, lo que permite así definir el comportamiento de los usuarios del edificio sus rutinas diarias de trabajo.

Al realizar una inspección inicial del interior del edificio y consultar con el departamento de Servicios Generales, se indica que la energía suministrada para consumo de este es meramente energía eléctrica, la cual, por medio de los diferentes equipos en el edificio se transforma en energía lumínica, calórica, o mecánica. La energía eléctrica suministrada al edificio es suministrada por la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL). El medidor del edificio entra dentro de la tarifa de tipo preferencial para instituciones públicas.

De acuerdo con la CNFL, la tarifa de tipo preferencial es suministrada para el suministro de energía y potencia en baja y media tensión a abonados que ejerzan alguna de las siguientes actividades:

- a. **Bombeo de agua potable:** Exclusivamente para el servicio de acueducto público, con la debida concesión del Ministerio del Ambiente y Energía (MINAE).
- b. **Educación.** Exclusivamente para centros de enseñanza pertenecientes al sector de educación pública estatal, incluidas las instalaciones que se dedican exclusivamente a la actividad educativa pública.
- c. **Religión:** Exclusivamente para templos de iglesias legalmente constituidas.
- d. **Protección a la niñez y a la vejez:** Hogares y asilos de ancianos, asilos de personas discapacitadas, guarderías promovidas por el Estado y hogares públicos para niños, todos de carácter benéfico y sin fines de lucro.
- e. **Atención de indigentes y drogadictos.** Establecimiento para la atención de personas indigentes o drogadictas que operen sin fines de lucro legalmente constituidos.
- f. **Instituciones de asistencia y socorro.** Aquellas cuyo fin sea la asistencia social para grupos de escasos recursos económicos o de protección de personas en caso de desastres o situaciones de crisis. Todos de carácter benéfico y sin fines de lucro.
- g. **Salud:** Exclusivamente para la Cruz Roja y centros de salud rural, de carácter estatal.
- h. **Personas con soporte ventilatorio domiciliario por discapacidad respiratoria transitoria o permanente.** Abonados o usuarios que requieren un equipo eléctrico para

la asistencia directa en el ciclo de la respiración, prescritos por medio de la Clínica de Servicios de Neumología y Unidad de Terapia Respiratoria del Hospital Nacional de Niños u otra unidad médica equivalente.

El Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica se clasifica dentro de las categorías antes mencionadas como institución de asistencia y socorro. La tarifa preferencial tiene las siguientes características de consumo:

		Bloque	Tarifa	Explicación
<p>Mayores a 3000 kWh (se cobra energía y potencia)</p> <p>Dependiendo de la cantidad de energía consumida regularmente, se crean bloques de tarifas:</p>	Tarifas por potencia	d. Bloque 0-8 kW	60.808,88	Si la potencia medida es menor a 8 kW, se paga este cargo fijo de potencia.
	Tarifas por potencia	e. Bloque mayor a 8 kW	7.601,11	Si la potencia medida es mayor a 8 kW, se cobra la tarifa por cada kW de potencia.
	Tarifas por energía	c. Bloque mayor a 3000 kWh	46,95	Se paga la tarifa por cada kWh. Se cobra un mínimo de kWh. <sup>(i)</sup>
Menores a 3000 kWh (Se cobra únicamente energía)	Tarifas por energía	a. Consumo de Energía menor o igual a 3000 kWh	81,53	Se paga la tarifa por cada kWh. Se cobra un mínimo de kWh. <sup>(i)</sup>

**Ilustración 0.** Características de consumo para la tarifa preferencial. Fuente: ARESEP.

De seguido se detalla la tarifa de consumo para comercios, servicios e industrias, tarifa en la que antes de febrero de 2023 se categorizaba la institución:

		Bloque	Tarifa	Explicación
<p>Mayores a 3000 kWh (se cobra energía y potencia)</p> <p>Dependiendo de la cantidad de energía consumida regularmente, se crean bloques de tarifas:</p>	Tarifas por potencia	d. Bloque 0-8 kW	97.193,36	Si la potencia medida es menor a 8 kW, se paga este cargo fijo de potencia.
	Tarifas por potencia	e. Bloque mayor a 8 kW	12.149,17	Si la potencia medida es mayor a 8 kW, se cobra la tarifa por cada kW de potencia.
	Tarifas por energía	c. Bloque mayor a 3000 kWh	72,89	Se paga la tarifa por cada kWh. Se cobra un mínimo de kWh. <sup>(i)</sup>
Menores a 3000 kWh (Se cobra únicamente energía)	Tarifas por energía	a. Consumo de Energía menor o igual a 3000 kWh	121,07	Se paga la tarifa por cada kWh. Se cobra un mínimo de kWh. <sup>(i)</sup>

**Ilustración 25.** Características de consumo para la tarifa preferencial. Fuente: ARESEP.

Como se puede observar, la tarifa preferencial le da a la institución la posibilidad de disminuir el costo del consumo eléctrico al menos en 35%, condición de ahorro que no es posible lograr con ninguna de las otras tarifas establecidas por la compañía de servicios.

Como parte de la información necesaria para la evaluación del sistema de aire acondicionado y su uso, en la siguiente tabla se describen los materiales y acabados constructivos del edificio.

*Tabla N° 2. Materiales de construcción del edificio. Fuente: Creación propia.*

Elemento		Material constructivo	Observaciones
Paredes	Exteriores	Concreto	-
	Interiores	Concreto / Gypsum / Madera Comprimida / Vidrio	-
Cielo		Fibra mineral / Concreto	Se considera una altura del suelo al techo de 3.5 m.
Ventanas		Ventana fija / Ventana apertura simple / Ventana apertura doble / Ventana con celosías	Con persianas venecianas.
Cubierta		Concreto	-
Piso		Concreto	Acabado terrazo / alfombra

## 4.2. Fase II: Inventario y mediciones

### 4.2.1. Inventario

En el edificio se encuentran un total de 51 equipos de aire acondicionado, en su mayoría de tipo VRF, que poseen capacidades de enfriamiento que van de los 3.5 kW (12 000 BTU/h) a los 47.5 kW (162 000 BTU/h). Estos fueron instalados entre los años 2012 con la remodelación inicial del edificio y 2018 con su segunda remodelación.

Los equipos mantienen una operación de lunes a viernes con horario de inicio de funcionamiento separados con el principal objetivo de disminuir los picos de corriente de arranque. El horario de funcionamiento del sistema se encuentra controlado mediante una programación de los presostatos establecida de acuerdo con el horario de las labores de los

usuarios del edificio. El arranque de los equipos se distribuye por niveles, comienza con el tercer nivel a las 07:30 a.m. y continúa con el segundo nivel a las 07:40 a.m. y, por último, el primer nivel a las 07:45 a.m. Todos estos equipos se apagan a las 04:30 p.m. Con referencia al nivel de sótano, los equipos implementados son manipulados por la usuaria del área de Archivo, a discreción. Los equipos ubicados en los cuartos electromecánicos de los distintos niveles del edificio, cuartos de T.I. y cuartos eléctricos, operan en un horario de lunes a domingo 24 horas continuas.

Los equipos de precisión son los que requieren mayor potencia en el edificio y, por ende, su utilización afecta particularmente la demanda en períodos en que el confort térmico se ve afectado.

A continuación, se presenta una tabla-resumen con los equipos que conforman el sistema de aire acondicionado. La totalidad de las características de los equipos se presentan en el anexo 1.

**Tabla N° 3. Resumen-inventario de los equipos de aire acondicionado. Fuente: Creación propia.**

Sistema	Equipo	Tipo De Equipo	Cantidad	Capacidad (BTU/h)
<b>Aire Acondicionado</b>	Mini Split	Pared Alta	4	12000
		Piso Cielo	1	60000
			1	58000
	Precisión	Precisión	2	81000
	VRF	Fan Coil	1	18000
			1	26000
			3	24000
			1	54000
			1	36000
			10	48000
			9	76000
			2	96000
		Condensador	3	154000
			1	155000
			5	162000
			2	129000
			1	77000
Cassette		1	28000	
	1	71000		

#### 4.2.2. Mediciones

Los recintos con climatización se muestran en la siguiente tabla. Como se mencionó, el edificio cuenta con tres niveles y las áreas seleccionadas por acondicionar corresponden a aquellas seleccionadas por la demanda del usuario y el criterio del diseñador.

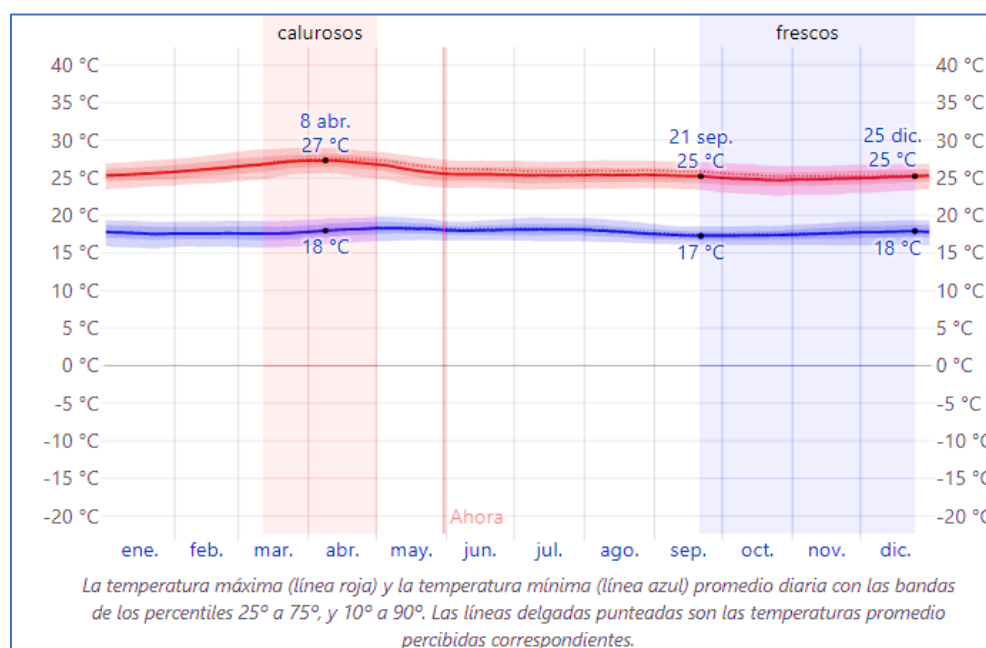
*Tabla N° 4. Recintos acondicionados. Fuente: Creación propia.*

Nivel	Recinto	Área (m <sup>2</sup> )
<b>Sótano</b>	Archivo	48
<b>1</b>	Cuarto TI	7,11
	Cuarto eléctrico	8,77
	Recepción ASECUBO	23,45
	Recepción	60,10
	ASECUBO	22,51
	Auditoría	65,67
	Tienda ASECUBO	34,95
	Pasillo servicios generales	49,02
<b>2</b>	Cuarto TI	23,06
	Cuarto eléctrico	6,64
	Oficina disciplina laboral	17,49
	Lobby	43,92
	Pasillo tesorería	15,32
	Dirección administrativa	21,15
	Contabilidad	59,94
	Entrada talento humano	36,08
	Talento humano, salida de emergencia	32,56
	Comedor	119,18
	Talento humano	62,19
	Sala de reuniones proveeduría	17,42
	Comedor	181,53
<b>3</b>	Oficina don Héctor	27,32
	Sala de Consejo Directivo	58,39
	Recepción	80,33
	SOA	67,02
	Planificación	18,33
	Dirección general (frente a sala consejo)	33,95
	Asesoría jurídica	26,16
	Sala Morita	74,59
	Jefe de operaciones	17,13

#### 4.2.2.1. Condiciones exteriores

El edificio de las oficinas centrales del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica se ubica en San José, San José, Distrito Merced. Las coordenadas geográficas corresponden a la latitud 9°66'11" N y longitud 84°05'09" O, a 1172 msnm. En Costa Rica existen dos estaciones meteorológicas principales, seca y lluviosa, por lo que se toman las condiciones

ambientales en la época crítica, que corresponde a la época seca. La temperatura en el valle central varía en el año normalmente entre 17 °C y 30 °C. La temporada templada dura 1,7 meses, aproximadamente del 11 de marzo al 1 de mayo. La temperatura máxima promedio diaria es más de 27 °C. El mes más cálido del año en San José es abril, con una temperatura máxima promedio de 27 °C y mínima de 18 °C. La temporada fresca dura 3,1 meses, aproximadamente del 20 de septiembre al 25 de diciembre. La temperatura máxima promedio diaria es de menos de 25 °C. El mes más frío del año en San José es octubre, con una temperatura mínima promedio de 17 °C y máxima de 25 °C.

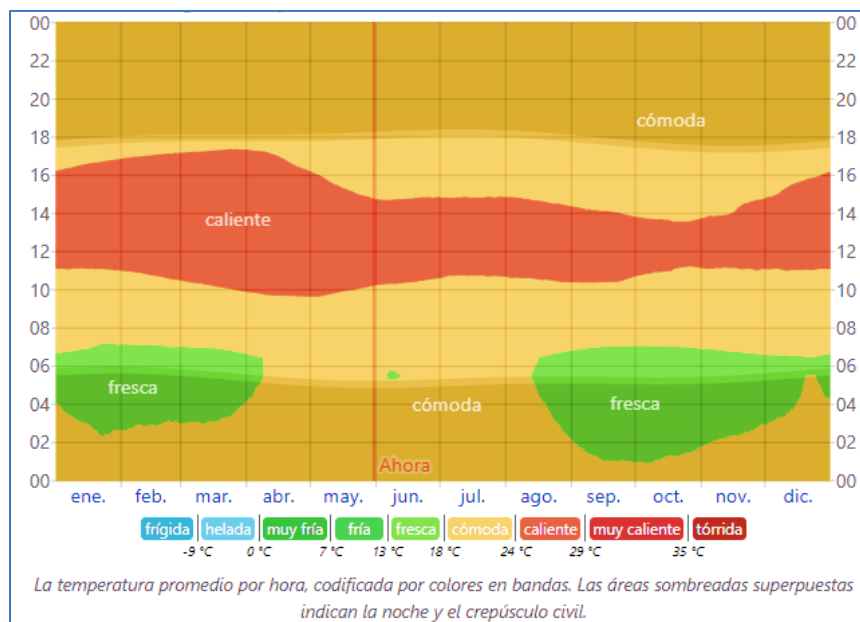


**Ilustración 26.** Temperatura máxima y mínima promedio en San José, 2022. Fuente: Weather Spark.

Promedio	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sep.	oct.	nov.	dic.
Máxima	26 °C	26 °C	27 °C	27 °C	26 °C	25 °C	25 °C	25 °C	25 °C	25 °C	25 °C	25 °C
Temp.	21 °C	21 °C	21 °C	22 °C	21 °C	21 °C	21 °C	21 °C	20 °C	20 °C	20 °C	21 °C
Mínima	18 °C	18 °C	18 °C	18 °C	18 °C	18 °C	18 °C	18 °C	17 °C	17 °C	18 °C	18 °C

**Ilustración 27.** Temperatura máxima y mínima promedio en San José, 2022. Fuente: Weather Spark.

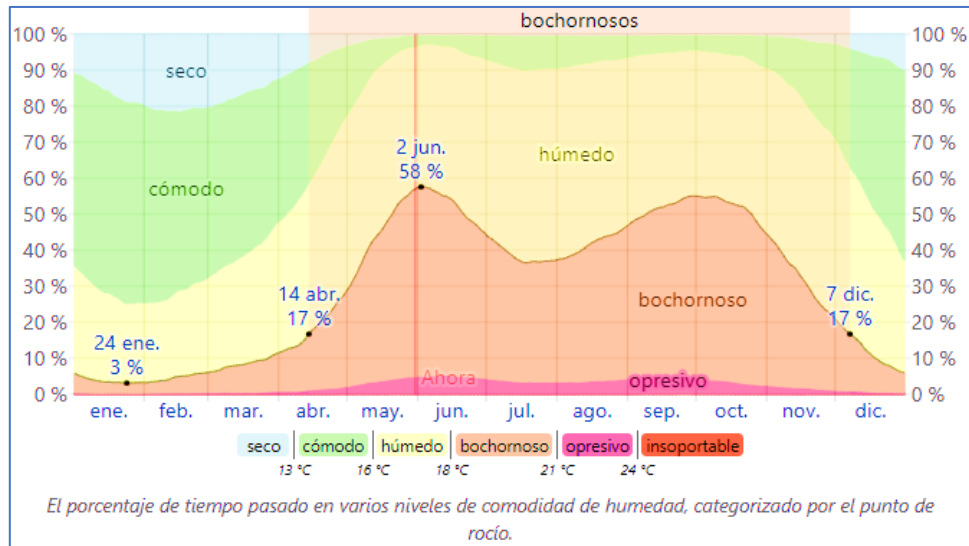
Adicionalmente, se debe contemplar que en el transcurso del día el promedio de espacio de tiempo más caliente es entre las 12:00 y las 14:00 h.



*Ilustración 28. Temperatura promedio por hora en San José, 2022. Fuente: Weather Spark.*

Con respecto a la humedad, basamos el nivel de comodidad en el punto de rocío, ya que este determina si el sudor se evaporará de la piel enfriando así el cuerpo. Cuando los puntos de rocío son más bajos se siente más seco y cuando son altos se siente más húmedo. A diferencia de la temperatura, que generalmente varía considerablemente entre la noche y el día, el punto de rocío tiende a cambiar más lentamente. Así es que, aunque la temperatura baje en la noche en un día húmedo generalmente la noche es húmeda. En San José la humedad percibida varía extremadamente.

El período más húmedo del año dura 7,8 meses, del 14 de abril al 7 de diciembre, y durante ese tiempo el nivel de comodidad es bochornoso, opresivo o insoportable, por lo menos durante el 17 % del tiempo. El mes con más días bochornosos en San José es octubre, con 16,0 días bochornosos o peor. El mes con menos días bochornosos en San José es enero, con 1,2 días bochornosos o peor.



*Ilustración 29. Niveles de comodidad de la humedad en San José, 2022. Fuente: Weather Spark.*

	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sep.	oct.	nov.	dic.
Días bochornosos	1,2dd.	1,3dd.	2,7dd.	5,7dd.	14,3dd.	15,6dd.	11,9dd.	13,0dd.	15,6dd.	16,0dd.	9,5dd.	3,6dd.

*Ilustración 30. Promedio de niveles de comodidad de la humedad en San José, 2022. Fuente: Weather Spark.*

Como se ha comentado, el confort térmico es afectado por la temperatura del aire, la humedad y la temperatura radiante y, así mismo, puede verse afectada por otros factores no ambientales como la ropa, la edad y la actividad física (ASHRAE, 2009).

La tabla 6 resume las condiciones ambientales de confort recomendadas por ASHRAE como condiciones de diseño para los sistemas HVAC en oficinas y clases.

*Tabla N° 5. Condiciones de confort recomendadas por ASHRAE para el diseño de sistemas de climatización. Fuente: (ASHRAE, 2009)*

Humedad Relativa	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	
	Verano	Invierno
30%	23,3 a 26,7	20,3 a 24,2
40%	23,1 a 26,7	20,0 a 23,9
50%	22,8 a 26,1	20,3 a 23,6
60%	22,8 a 25,8	19,7 a 23,3

Como se puede observar, en general existe un amplio ámbito de criterios que se consideran de confort, para este proyecto se consideran que las temperaturas de confort van de 22 a 25 °C y la humedad relativa entre el 30 y 60%.

A temperaturas efectivas debajo de los 25°C el efecto de la humedad relativa sobre el confort térmico es mínimo, pero para arriba de la misma temperatura este parámetro cobra importancia a medida que la pérdida de calor latente se convierte en el principal mecanismo para eliminar el calor metabólico. Si a esas temperaturas el aire se siente húmedo el ambiente se percibe como no confortable (ASHRAE, 2009).

### 4.3. Fase III: Análisis de datos y medidas de ahorro

#### 4.2.3. Balance energético

Inicialmente se realiza el análisis del consumo eléctrico general del edificio, se tabulan los consumos desde noviembre de 2022 hasta mayo 2023 y se revisan los rubros de cobro adjudicados al consumo eléctrico según estipula la ley. En la siguiente tabla se muestra el detalle del consumo eléctrico en potencia consumida y su respectivo valor económico.

*Tabla N° 6. Consumo eléctrico noviembre 2022 a febrero 2023. Fuente: Oficina de Sostenibilidad, Bomberos Costa Rica.*

Edificio	Mes y año	Energía kW/h	Consumo de demanda (kW)	Monto por pagar
Oficinas Centrales	Junio 2022	22 800	89.00	₡ 3 098 000,00
	Julio 2022	24 800	89.12	₡ 3 082 005,00
	Agosto 2022	24 080	91.12	₡ 2 972 690,00
	Setiembre 2022	23 600	95.28	₡ 2 986 610,00
	Octubre 2022	22 000	96.24	₡ 2 713 960,00
	Noviembre 2022	23 600	93,28	₡ 2 598 270,00
	Diciembre 2022	23 520	88,08	₡ 2 536 895,00
	Enero 2023	18 720	84,32	₡ 2 244 255,00

**Tabla N° 7. Consumo eléctrico marzo 2023 a mayo 2023. Fuente: Oficina de Sostenibilidad, Bomberos Costa Rica.**

Edificio	Mes y año	Energía kW/h	Consumo de demanda (kW)	Monto por pagar
Oficinas Centrales	Febrero 2023	22 000	88,48	₡ 1 694 320,00
	Marzo 2023	22 560	90,48	₡ 1 735 595,00
	Abril 2023	21 280	93,92	₡ 1 752 285,00
	Mayo 2023	24 720	100,48	₡ 2 048 340,00

En el anexo dos se ubica el recibo del consumo eléctrico. Como parte de la auditoría se revisan los rubros liquidados en este recibo. Así como es importante verificar el gasto monetario se deben tomar en consideración otros datos del servicio como son: el factor de potencia, cargos por mora en el pago mensual, la tarifa de cobro, el consumo mensual, entre otros. Adicionalmente, se puede interpretar el consumo energético mediante un indicador de emisiones, se monitorea las emisiones CO<sub>2</sub> producidas si la energía 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 anual. El resultado es una estimación.
- Aspecto medido. La energía consumida es convertida en emisiones de TonCO<sub>2</sub> con una calculadora ambiental facilitada por la web de *Profitable Green Solutions*.

**Tabla N° 8. índice de emisiones de CO<sub>2</sub>**

Índice de emisiones de CO <sub>2</sub>	
Consumo eléctrico (kW/h)	Consumo de emisiones (TonCO <sub>2</sub> )
273 680 / año	189 / año

Otro dato relevante que se debe analizar del recibo de consumo eléctrico es el factor de potencia. Este rubro se define como la relación que existe entre la potencia activa que consume la instalación y la potencia aparente que se suministra por parte de la empresa distribuidora de la energía. Por consiguiente, un bajo factor de potencia se deriva principalmente de las cargas eléctricas de naturaleza inductiva, tales como transformadores, motores de inducción, lámparas fluorescentes, grupos de aparatos eléctricos, entre otros. Por ejemplo, el sobredimensionamiento de motores puede provocar una gran caída de factor de potencia debido a la utilización desproporcionada de energía para la magnetización de sus embobinados. Ello conduce a que, si se conoce que existe un bajo factor de potencia, no solo se puede evitar una penalización, sino que se podría evidenciar un mal diseño o funcionamiento de los equipos instalados en el edificio.

Se refleja en el recibo del consumo eléctrico que el edificio de las oficinas centrales genera un factor de potencia de 97,89%, a pesar de la cantidad de equipos de aire acondicionado y los equipos de cómputo que se utilizan, dado que estos son conocidos por su tendencia a crear bajos factores de potencia cuando trabajan en conjunto y en los mismos horarios, Krarti (2011). El valor del factor de potencia va de 0 a 1 (0 a 100%) y cuanto, entre más cercano a 1 es mejor el aprovechamiento de la potencia y como trabajo útil. Por consiguiente, de acuerdo con los datos supra mencionados se verifica que se trabaja bajo un factor de potencia adecuado.

FACTORES DE POTENCIA (%)				
DEMANDA MÁX. FACTURADA (KW)	KVA MÁXIMOS	FACTOR POTENCIA (%)	MÍNIMO REQUERIDO	RECARGO POR BAJO FP
100.48	.262	97.89	90	¢ 0.00

HISTÓRICO DE CONSUMO

*Ilustración 31. Extracto recibo consumo eléctrico.*

Posteriormente se realiza un análisis del consumo de equipos de acuerdo con el área de los aposentos a los que están designados y se observa que existen equipos con un consumo mucho mayor al requerido por el aposento, de acuerdo con su uso. Para efectos de trabajo se toman como referencia cinco aposentos ubicados en los diferentes niveles del edificio. En la siguiente tabla se resumen los casos de estudio seleccionados:

**Tabla N° 9.** Equipos de consumo seleccionados para estudio. Fuente: elaboración propia.

Nivel	Aposento	Tamaño (m <sup>2</sup> )	Equipos utilizado	Consumo (BTU/h)	Consumo (kW)	Uso semanal (h)	Consumo mensual (kW/h)	Costo mensual
1	Tienda ASECUBO	33,73	VRF, fan coil	96 000	1,23	45	221,4	€ 15 409,44
2	Cuarto de T.I.	23,06	Precisión	85 000	19,5	50,4 (real)	3 921,20	€ 273 611,52
	Comedor	181,53	VRF, fan coil	76 000	0,79	45	9,48	€ 9 897,12
			VRF, fan coil	26 000	0,27	45	48,60	€ 3 382,56
3	Sala Morita	74,59	VRF, fan coil	76 000	0,79	16	50,56	€ 3 518,976
	Sala Consejo Directivo	59,89	Multisplit (condensador)	95 000	0.030	3	0,36	€ 25,06
			Cassette	28 000	0.040	3	0,48	€ 33,41
			Fan coil	48 000	0.540	3	6,48	€ 451,01
<b>Total</b>							<b>€ 306 329,10</b>	

De los consumos de la tabla 8 es importante destacar que el cuarto de T.I. del segundo nivel tiene un segundo equipo de precisión que se utiliza como equipo de respaldo. Este presenta un consumo de 85 000 BTU/h y 26,2 kW. En términos de costo económicos no es preciso determinar las horas de consumo semanal que este equipo trabaja, debido a su condición de uso. Para efectos de este trabajo se hará un estimado de uso semanal para el cálculo eventual de su consumo; por consiguiente, este equipo entrará en funcionamiento y el costo mensual disminuiría. Se muestran a continuación los detalles del equipo de respaldo.

**Tabla N° 10.** Equipo de respaldo el cuarto de T.I. del segundo nivel.

Nivel	Aposento	Tamaño (m <sup>2</sup> )	Equipo utilizado	Consumo (BTU/h)	Consumo (kW)	Consumo semanal (h)	Consumo mensual (kW/h)	Costo mensual
2	Cuarto de T.I.	23.06	Precisión	81 000 (real)	24,9	25,2 (estimado)	2 640,96	€ 183 810,82

En la tabla 8 es importante notar la relación área (m<sup>2</sup>) y potencia de enfriamiento (BTU/h) en cada uno de los aposentos detallados en conjunto con sus horas de funcionamiento. Para cada

uno de estos aposentos se hizo un cálculo de carga térmica a fin de determinar el consumo puntual según sus características constructivas y de uso actuales.

El cálculo de carga térmica se realizó de acuerdo con los pasos descritos en el apartado 2.1.7 del presente documento, resumidos en una serie de memorias de cálculo que se complementan con tablas-resumen compiladas en el libro *Air Conditioning Manual*. Estas tablas-resumen fueron realizadas con base en la teoría de cálculo de carga de calor expuesta en el capítulo 26 del libro “*ASHRAE Handbook. Fundamentals*”.

Como referencia para las memorias de cálculo se utilizó el documento *Carga térmica laboratorio electromecánica*, del curso universitario **Principios del aire acondicionado** de la Universidad Internacional de las Américas en el año 2020.

En el anexo 3 se adjunta el detalle de los cálculos de carga térmica realizada. De seguido se presentan los resultados obtenidos:

## 1. Tienda ASECUBO, nivel 1. Condiciones del diseño

### 1.1. Paso 1 Condiciones de diseño en lo externo y en el interior

Se emplean las mismas condiciones para todos los aposentos, excepto para el cuarto de T.I.

*Tabla N° 11. Condiciones de diseño exteriores e interiores.*

	Exterior	Interior	$\Delta$
<b>TBS (°F)</b>	80,6	75,2	5,4
<b>TTBH (°F)</b>	68	68	0
<b>HR%</b>	55	65	
<b>H (KJ/Kg)</b>	63,34	59,84	3,5
<b>H (BTU/lb)</b>	27,23	25,73	1,50
<b>1 KJ/kg = 0,429923BTU/lb</b>			

## **1.2. Paso 2 Ganancia solar por irradiación.**

### **1.2.1. Irradiación por ventanas**

El aposento no posee ventanas.

## **1.3. Paso 3 Ganancia solar en techos**

Para esta situación se considera un cielorraso de *gypsum* de 2". ROOF GROPU N° P; por tanto, corresponde a 2166.72 BTU/h.

## **1.4. Paso 4 Ganancia solar en paredes.**

Para esta situación se consideran paredes de concreto y vidrio; por tanto, se tiene un total de 3941,201 BTU/h.

## **1.5. Paso 5 Ganancia internas del local.**

### **1.5.1. Carga por ocupantes.**

Se considera un cantidad de ocupantes promedio de 6 personas, lo que representa 3060 BTU/h.

### **1.5.2. Ganancia internas del local - carga por equipos eléctricos.**

En este aposento se instalaron 27 lámparas LED de tipo reflector con una potencia de 8.3 W por lámpara, que suman 224,1 W. Además, en la tienda se utiliza un equipo de computo que aporta 145 W; por consiguiente, se obtiene un total de 834,44 BTU/h en ganancia interna del local.

## **1.6. Paso 6 Ganancia interna que aporta el aire de renovación.**

Para un total de seis personas se establecen 90 CFM totales, con cinco cambios de aire o renovación por hora.

### 1.6.1. Ganancia intern que aporta el aire de renovación por infiltraciones

Un aposento puede presentar infiltraciones a través de las ranuras de puertas y ventanas o cualquier otra perforación que haya en paredes. La tienda no tiene ventanas; por tanto, solo se contemplan las infiltraciones por las puertas. Estas corresponden a un total de 6,6 CFM.

### 1.6.2. Ganancia internas que aporta el aire total.

Cuando se realiza la suma de los resultados de los puntos 1.6 y 1.6.2 se obtiene la ganancia total que aporta el aire de renovación. Estos datos suman 15,3375 (pies<sup>3</sup>/min) que representan 95 BTU/h.

### 1.7. Carga total

Para obtener la carga total de potencia de refrigeración en la tienda ASECUBO se deben sumar todos los resultados antes obtenidos, y la carga total de esta es 10 169,79 BTU/h.

De esta forma se realizó el cálculo de carga térmica para los cinco aposentos seleccionados para el estudio, realizando variaciones en aquellos aposentos que contaban con ventanas, con equipos eléctricos distintos a computadoras y los distintos materiales constructivos presentes. En la tabla N° 10 se enlistan los resultados de los cinco aposentos seleccionados para estudio.

*Tabla N° 12. Consumo de refrigeración requerido por aposento en el día más caliente del año.*

Nivel	Aposento	Tamaño (m <sup>2</sup> )	Equipos utilizado	Consumo actual (BTU/h)	Consumo requerido (BTU/h)
1	Tienda ASECUBO	33,73	VRF, fan coil	96 000	10 097
2	Cuarto de T.I.	23,06	Precisión	85 000	23 516
	Comedor	181, 53	(2) VRF, fan coil	102 000	119 479
3	Sala Morita	74,59	VRF, fan coil	76 000	41 324
	Sala del Consejo Directivo	59,89	Multisplit (condensador)	95 000	27 618
			Cassette	28 000	
			Fan coil	54 000	
<b>Total</b>				505 000	221 674

#### **4.4. Fase IV: Revisión y control de calidad**

##### **4.4.1. Oportunidades de conservación de la energía (OCE)**

En la presente sección se consideran las opciones de conservación de energía más importantes con potencial de aprovechamiento para el edificio. Las opciones de mejora acá presentadas se clasificarán de acuerdo con su nivel de implementación; por tanto, se enlistarán primero las oportunidades de conservación de la energía que no requieran inversión, incluidos cambios en la operación y mantenimiento, así como determinar los posibles ahorros generados por ellos. Seguidamente, se enlistarán todas las medidas de conservación de energía que incluyan modificaciones o sustituciones de equipo.

- **OCE N° 1. Revisar y corregir los parámetros de diseño de los equipos de climatización**

#### **Discusión**

Cuando se realiza el cálculo para el diseño de un sistema de aire acondicionado es importante tomar en consideración todas las cargas por calor descritas en el capítulo 2. Estos parámetros de diseño son esenciales para el desarrollo del proyecto de climatización. No obstante, con el paso del tiempo es común que exista algún ajuste que se deba realizar debido a modificaciones en infraestructura, condiciones de uso de los espacios climatizados o insuficiencia energética por la decadencia de la vida útil de los equipos. Un mal diseño propicia el sobredimensionamiento de un equipo de aire acondicionado, lo cual consiste, de manera básica, en la instalación de un sistema con una capacidad de enfriamiento mayor a la necesaria para el espacio en cuestión. Esto puede ocurrir por diversas razones como una estimación incorrecta de las necesidades de refrigeración, el deseo de tener un sistema más potente por precaución o incluso la falta de conocimiento técnico adecuado.

Como consecuencia del sobredimensionamiento están la inconsistencia en la temperatura, el aumento de humedad y la ineficiencia energética. Un equipo, al enfriar rápidamente el espacio y reducir su operación antes de que se distribuya el aire frío de manera uniforme, puede producir fluctuaciones de temperatura; por consiguiente, zonas con temperaturas

desequilibradas, esto aunado a que existe la posibilidad de que el sistema no opere lo suficiente para eliminar adecuadamente la humedad del aire, crea un ambiente incómodo y poco agradable para los ocupantes, propenso inclusive al crecimiento de moho y hongos.

Como parte del análisis se hace una revisión de la potencia de los condensadores con respecto a la demanda de los evaporadores que componen un grupo de trabajo, a fin de verificar el balance energético entre ambos. Al agrupar los equipos de aire acondicionado instalados en el edificio por nivel, se definen los condensadores que operan por piso, en conjunto con los evaporadores que sirven en el interior del edificio. En la siguiente tabla se describen estos grupos de equipos:

*Tabla N° 13. Grupo de equipos de aire acondicionado por nivel.*

Nivel	Cantidad	Descripción	Potencia total (BTU/h)
1	2	Condensadores	308 000 (Maestro + Esclavo)
	5	Evaporadores	258 000
2	3	Condensadores	437 000 (Maestro + Esclavos)
	9	Evaporadores	516 000
3	3	Condensador	449 000 (Maestro + Esclavos)
	8	Evaporadores	491 000
	2	Condensadores	449 000 (Maestro + Esclavos)
	2	Evaporadores	152 000
2 y 3	1	Condensador	216 000
	4	Evaporadores	186 000

Con los datos de la tabla N° 12 es posible inferir que existen unidades condensadoras que tienen una potencia menor a la demanda del conjunto de evaporadores al que suple y otras que, por el contrario, poseen potencia de más. Al realizar la sumatoria de la carga máxima para cada grupo de unidades interiores y el uso de ese número total para dimensionar la unidad exterior, dará lugar a una unidad de condensación innecesariamente sobredimensionada. Aunque una unidad de condensación sobredimensionada con compresores múltiples es capaz de funcionar a una capacidad inferior, como se ha expuesto

anteriormente, un sobredimensionamiento podría reducir o cesar la función de modulación de la válvula de expansión, crear un ciclo con una carga insuficiente de refrigerante o no lograr utilizar la eficiencia completa del equipo. De acuerdo con *ASHRAE Handbook 2016 HVAC Systems and Equipment*, la unidad condensadora se selecciona al 85% de la capacidad debido al factor de diversidad, por lo que, si se analiza nuevamente la tabla N° 12, la premisa sobre sobredimensionamiento varía. En la tabla N° 13 se detalla la potencia de demanda para las unidades condensadoras implementando el factor de diversidad.

**Tabla N° 14.** Grupo de equipos de aire acondicionado por nivel, factor de diversidad.

Nivel	Cantidad	Descripción	Potencia total (BTU/h)	Potencia con FD al 85% (BTU/h)
1	5	Evaporadores	258 000	219 300
2	9	Evaporadores	516 000	438 600
3	8	Evaporadores	491 000	417 350
	2	Evaporadores	152 000	129 200
2 y 3	4	Evaporadores	186 000	158 100

Equiparando los resultados de las tablas N° 12 y 13 sobresalen las magnitudes de demanda potencia menores que las mayores, es decir, las unidades condensadoras tienen un parámetro de diseño muchísimo mayor, de acuerdo con la demanda de las unidades evaporadoras, con excepción de los equipos del nivel dos en que la demanda en el interior del edificio sobrepasa en 1600 BTU/h a la unidad condensadora.

En la tabla N° 8 se detalla la carga térmica demandada en el área de comedor del segundo nivel y su actual potencia de refrigeración. Para efecto del análisis este aposento se descartó ya que los equipos se mantienen apagados en su totalidad.

Otra condición importante se presenta en el aposento “sala de reuniones Proveeduría”. Como su nombre lo indica, este aposento consiste en una sala de reuniones con capacidad de seis a diez personas, la cual, se utiliza en un aproximado de tres horas semanales. Esta sala se encuentra climatizada por medio de una unidad evaporadora de 76 000 BTU/h de potencia, que comprende varios aposentos aledaños al área en donde se ubica la sala. Debido a ello, la climatización de este espacio es constante durante la jornada laboral, es decir, esta sala de

reuniones se climatiza indistintamente de si se está utilizando o no durante el horario de trabajo establecido por día.

La situación antes descrita obedece al diseño de climatización de esta zona. Anteriormente este espacio no estaba contemplado con un uso para sala de reuniones sino como espacio para oficinas y de ahí que se incluyera dentro de la distribución de aire acondicionado. Aunado a ello, debido al control electrónico de esta unidad evaporadora, no es posible apagarla ya que se eliminaría la climatización de todos los recintos que dependen de él.

El desaprovechamiento de energía en este espacio genera un consumo mensual considerable que podría ser aprovechada para otras funciones. A continuación, se detalla.

*Tabla N° 15. Consumo energético sala de reuniones Proveeduría, nivel 2.*

<b>Sala de reuniones Proveeduría, nivel 2.</b>		
<b>Datos generales</b>	<b>Uso actual</b>	<b>Uso real</b>
<b>Consumo (BTU/h)</b>	76 000	16 435.66
<b>Consumo (kW)</b>	0.530	
<b>Consumo semanal (h)</b>	168	3
<b>Consumo mensual (kW/h)</b>	356,16	6,36
<b>Consumo de emisiones anual (TonCO<sub>2</sub>)</b>	0,246	0.004
<b>Costo mensual</b>	¢24 788,74	¢442.66

De la tabla N°14 se puede afirmar que el consumo durante la jornada laboral establecida en contraste con su uso real representa un consumo casi tres veces mayor a lo requerido, según su uso de implementar un equipo de aire acondicionado que suplía la demanda real de la sala de reuniones, que representaría un ahorro anual de ¢ 292 152,96.

Además de los equipos supra citados existe, en el nivel dos, un sistema de aire acondicionado de presión ubicado en el cuarto de T.I, detallado en las tablas N° 8 y 9, el cual fue diseñado bajo el concepto de “futura expansión”, ya que en el momento del diseño la tendencia tecnológica de migrar el respaldo de la información digital hacia un banco de servidores externo no era una oferta atractiva en el mercado. Por tanto, se adquirieron equipos

suficientes para la demanda del momento y se implementó un factor de diseño en pro de la expansión de las áreas de trabajo con su respectivo aumento en la demanda.

A la fecha de esta auditoría, se cambió el rumbo del almacenaje de la información digital reduciendo en más de 50% la cantidad de equipos que se mantienen en el aposento, lo que conlleva al uso ininterrumpido de un sistema de aire acondicionado que posee 61 484 BTU/h adicional, de acuerdo con la carga de calor calculada en la sección 4.3 del presente documento. En la tabla N° 15 se detalla el costo por el consumo extra de este equipo.

**Tabla N° 16.** Consumo extra de equipo en cuarto de T.I. nivel 2.

Nivel	Aposento	Consumo extra (BTU/h)	Consumo (kW)	Consumo semanal (h)	Consumo mensual (kW/h)	Consumo de emisiones (TonCO <sub>2</sub> )	Costo mensual
2	Cuarto de T.I.	61 484	14,10	50,4	710,64	0.330	€ 49 460,54

Con los datos de la tabla N° 15 es notorio que el consumo extra significaría un ahorro muy importante de energía; por ende, a nivel económico.

### **Implementación**

La implantación de esta OCE conlleva el desarrollo total del cálculo de carga térmica de los aposentos del edificio, tal como se realizó en la sección 4.2.3 del presente documento. Con ello se logrará obtener la demanda real en potencia de refrigeración del edificio y así definir opciones de rediseño que mejoren el aprovechamiento de energía de los equipos de aire acondicionado existentes, según los usos y consumos de cada aposento del edificio. En cuanto al equipo utilizado en el cuarto de T.I del nivel 2, este representa el mayor consumo en términos de costos de energía de todos los equipos del edificio, es imperativo que se realice su rediseño o se implemente otro tipo de equipo en este aposento.

### **Recomendación**

Para los sistemas de aire acondicionado tipo VRF se recomienda inicialmente revisar las unidades evaporadoras que sirven a la unidad condensadora del nivel 2, con el objetivo de

disminuir la demanda y amortiguar el funcionamiento del equipo. Retirar el consumo de la sala de reuniones de Proveeduría podría funcionar para este propósito.

El equipo utilizado en el cuarto de T.I del nivel 2 se puede reemplazar por una unidad minisplit, pues ya este aposento no requiere más de 30 000 BTU/h con sus condiciones actuales. Este equipo puede ser reubicado en alguno de los edificios parte de la institución que también se encuentren climatizados. El ahorro en el cambio de un equipo que consume mucha energía puede ser significativo tanto en lo económico como en lo ambiental.

### ➤ **OCE N° 2. Uso eficiente de los espacios climatizados**

#### **Discusión**

Tal como se discutió en la OCE anterior, durante las fases I y II se observaron aposentos que se encuentran climatizados por equipos que poseen una potencia de refrigeración mucho mayor a la requerida y, a pesar de que la tecnología de los equipos instalados se caracteriza por suplir la demanda, existen condiciones que pueden estar generando un mal gasto de energía.

Como se detalla en la tabla N° 3, la gran mayoría de los espacios climatizados en el edificio utilizan sistemas tipo VRF o VRV, lo que permite programar la temperatura deseada en cada una de las unidades interiores, o incluso mantener unas encendidas y otras apagadas en un mismo momento; esto gracias al control de velocidad integrado en el compresor en conjunto con el sistema de control electrónico. Sin embargo, este funcionamiento se puede ver afectado no solo por no considerar adecuadamente las fluctuaciones de las cargas de calor, sino también por el movimiento del aire alrededor de los espacios acondicionados.

Cuando se enciende un equipo de aire acondicionado del tipo VRF este opera a 100% para conseguir la temperatura establecida en el mando de control. Una vez conseguida esta temperatura este reduce la potencia en el compresor para consumir la menor cantidad de energía posible manteniendo la temperatura establecida en la estancia. Pero esta manera tan eficiente de operar es posible si se mantienen las condiciones ideales en los aposentos como:

estanqueidad, cierre de aberturas, control de fuentes de calor, entre otros. Al existir aberturas en los aposentos climatizados que provocan el tránsito libre del aire acondicionado por todo el edificio la eficiencia del equipo del tipo VRF se compromete y no logra operar como es esperado. En términos de consumo energético, un equipo del tipo VRF puede reducir hasta 50% de su gasto energético en función del control de la velocidad del compresor, por lo que si, por ejemplo, el sistema de aire acondicionado tiene un consumo de 1.5 kW al 100% de rendimiento con un precio de ¢100 kW/h, el equipo está consumiendo un total de ¢150 kW/h por una hora de funcionamiento a máximo rendimiento. Al conseguir la temperatura su consumo se reduce entre 50 y 70%. Es decir, de 1,5 kW a 0,75 kW a 50% ó 0.45 kW a 70% de consumo. En este caso se podría gozar toda una tarde del aire acondicionado, manteniendo la estancia climatizada a ese consumo, ya que su 100% de consumo solo se obtiene hasta que el aire acondicionado haya conseguido la temperatura programada en el control. Con esto en ese rendimiento se estaría obteniendo una reducción de consumo de ¢75 kW/h a 50% o ¢45 kW/h a 70% de operación.

En los recorridos hechos por el edificio para la recolectar datos se observó que en cada nivel se acostumbra a mantener abiertas las puertas de los aposentos o áreas de trabajo hacia las áreas comunes, las cuales a pesar de que también están climatizadas tienen aberturas verticales, como escaleras y ductos de elevadores que permiten el flujo libre del aire acondicionado entre los distintos niveles del edificio. Esta condición provoca que las mediciones de temperatura realizadas por los equipos para mantener el control térmico en cada aposento estén sujetas a un área de censado mayor que su área de diseño, lo que demanda el funcionamiento de los equipos con un rendimiento a lo largo de la jornada de trabajo establecida, no tan bajo como se plantea según su tecnología.

Si bien los equipos implementados en estas zonas presentan un nivel de eficiencia energética superior, la clave de esta eficiencia radica en poder aprovechar al máximo las condiciones de confort térmico creadas al inicio del ciclo de refrigeración, de forma tal que el ajuste de la potencia de enfriamiento se adapte a las necesidades del espacio, en el que se encuentra el difusor instalado y no sea forzado a extender el flujo de aire a otros aposentos, y esto ocasione que no sea posible disminuir el consumo del equipo entre 50% y 70%, como se mencionó anteriormente.

Por su parte, se observó que existen aposentos que tienen un sistema de control individual pero no es utilizado de manera correcta. El aposento denominado “Sala Morita” tiene un uso temporal de 16 horas semanales, como se detalla en la tabla N° 8; sin embargo, el sistema puede trabajar una mayor cantidad de tiempo dado que al finalizar el uso de la sala los usuarios olvidan apagar el equipo. En la siguiente tabla se resumen el costo basado en el uso supuesto de la sala sin ocupación.

*Tabla N° 17. Consumo energético sala de reuniones Morita, nivel 3.*

<b>Sala de reuniones Morita, nivel 3.</b>		
<b>Datos generales</b>	<b>Uso actual</b>	<b>Uso real</b>
<b>Consumo (BTU/h)</b>	76 000	
<b>Consumo (kW)</b>	0.790	
<b>Consumo semanal (h)</b>	48	16
<b>Consumo mensual (kW/h)</b>	151,68	50.56
<b>Consumo de emisiones anual (TonCO<sub>2</sub>)</b>	0,246	0.004
<b>Costo mensual</b>	¢10 556,93	¢3 518,98

Para el escenario de la tabla N° 16 se considera un uso semanal de la Sala Morita de 48 horas, lo que correspondería a triplicar su consumo esperado. Este consumo representa un total de ¢7 037,03 de más que se estarían sumando a la cuenta del recibo eléctrico y no se obtiene ningún aprovechamiento.

Junto con las prácticas antes descritas se observó que los difusores instalados en los distintos aposentos ya sean de tipo casete, de ranura o de cieloraso, han sido manipulados por los usuarios del recinto, ya que estos mantienen desviadas o completamente cerrados sus elementos para difusión de aire.

Para proporcionar el ambiente confortable en un recinto se requiere una buena distribución de aire. Esto se puede lograr de acuerdo con (Pita, 2005) manteniendo las temperaturas de las zonas ocupadas a  $\pm 1$  °C de la temperatura de diseño. Esto permite amortiguar las fluctuaciones de temperatura y mantener la comodidad con el aire distribuido. Manteniendo

las velocidades del aire (velocidad residual) entre 0.13 y 0.15 m/s para aplicaciones en donde las personas permanecen sentadas, mantener altas velocidades (corrientes) estas causan incomodidad, así como las velocidades más bajas producen, en general, una sensación de pesadez.

Con respecto al comportamiento del suministro de aire a un recinto se generan consideraciones importantes para ubicar correctamente los dispositivos, para balancearlos y ajustarlos:

- Cuando se suministra aire a menor temperatura que la del recinto (como por ejemplo durante el verano) el aire desciende.
- Cuando se suministra aire a mayor temperatura que la del recinto (como por ejemplo durante el invierno) el aire sube.
- Cuando se suministra aire en dirección paralela a, y cerca de un cielorraso tenderá a "adherirse" al techo durante alguna distancia. A esto se le llama el efecto *Coanda*.

Para su ubicación los dispositivos de distribución de aire pueden ubicarse en lo alto de una pared, en el cielorraso, en la parte baja de una pared, en el piso o en umbral de ventana. El edificio auditado únicamente cuenta con difusores a nivel del cielorraso del tipo casete, de ranura y de cielorraso. Estos difusores actúan bajo el efecto *Coanda* para la distribución del aire sobre la superficie del cielorraso. Cuando un chorro de aire es expulsado desde un dispositivo terminal adyacente y paralelo a una superficie plana despejada el chorro arrastra aire solo desde un lado, lo que provoca la desviación del eje del chorro hacia la superficie. Este efecto disminuye a medida que nos alejamos de los difusores, ya que se arrastra cada vez más aire desde el lado de la habitación, lo que resulta en una reducción de la velocidad del chorro de aire. Sin embargo, el efecto *Coanda* se mantiene a pesar de las diferencias de temperatura entre el chorro y el aire de la habitación. Este efecto es un factor crítico que influye en la selección y ubicación de los terminales de suministro de aire, especialmente en habitaciones con techos bajos que tienen poco espacio encima de la zona ocupada en donde puede ocurrir la mezcla. Si el efecto *Coanda* no está presente el alcance máximo de cualquier

difusor se reduce aproximadamente en 33%. Los principales factores que influyen en si ocurre o no el efecto *Coanda* son:

- La distancia entre el terminal y la superficie.
- El ancho del chorro expuesto a la superficie.
- La velocidad del chorro de aire.
- La presencia de proyecciones y otras influencias perturbadoras.

La manipulación de los difusores y sus terminales de difusión influyen en la correcta distribución del aire acondicionado en el recinto, ya que no se consigue lograr el efecto descrito anteriormente. Además de propiciar un censado incorrecto de temperatura al no permitir el flujo constante y requerido de aire en los recintos, lo que propicia un desaprovechamiento del funcionamiento en función del ahorro de energético de los equipos instalados.

Acciones como:

- Apertura de ventanas y puertas. Acción que puede no ser revertida debido a la inmersión en el desarrollo de las labores diarias, sometiendo al equipo de climatización al ciclo de enfriamiento constante descrito anteriormente.
- Implementación de equipos para climatización extra, como son los ventiladores, acción que aun cuando puede ser más propensa a ser revertida genera un consumo de energía eléctrica adicional.
- Ajuste de la temperatura. Es posible que se solicite constantemente un reajuste en la temperatura de funcionamiento de los equipos, bajo el entendimiento de que esta acción acelerará el proceso de climatización en el aposento. Es una acción que se puede ver influenciada por el colectivo social y no por los cálculos de diseño del sistema, por lo cual se alteraría el funcionamiento correcto y eficiente de los equipos de aire acondicionado.

Tales acciones podrían ser impulsadas por las situaciones antes descritas para mantener el confort térmico en los recintos. Esto generaría un ciclo de enfriamiento constante y hace que el sistema de aire acondicionado trabaje más para mantener la temperatura deseada, lo que aumenta el consumo de energía eléctrica y afecta la eficiencia del sistema. Esto eventualmente acortaría su vida útil y consecuentemente, aumenta los costos de funcionamiento. Evidencia de ello se observa en el anexo 5, en donde se presentan las temperaturas de operación en cada uno de los evaporadores y estas varían entre 2 y 3 grados unas de otras. El aire acondicionado está diseñado para proporcionar un ambiente fresco y confortable al cerrar los espacios y aislarlos del exterior.

Además de esta práctica, se observa que los aposentos climatizados no se encuentran separados por completo de aquellos no climatizados. Es decir, los recintos con un difusor o evaporador para uso exclusivo se mantienen en constante contacto con recintos como ductos mecánicos, áreas de servicios sanitarios o almacenamiento que tienen una ventilación natural y no existe una hermeticidad efectiva que prevenga filtraciones en el espacio climatizado.

Es importante abordar lo de la separación entre los espacios climatizados y no climatizados para garantizar la eficiencia energética y el rendimiento óptimo del sistema de climatización. Con acciones como implementar aislamientos o sellos en las paredes y techos, que separan las áreas climatizadas de las no climatizadas, solucionar problemas de alta concentración humedad o simplemente educar a los ocupantes sobre la importancia de mantener puertas y ventanas cerradas para evitar pérdidas de energía, se puede lograr un equilibrio entre el confort térmico, la eficiencia energética y el rendimiento del sistema de climatización.

Asimismo, las filtraciones se pueden presentar por detalles o fallas en los elementos constructivos como: ventanas y puertas mal selladas, aislamiento deficiente en paredes, techos o pisos, fugas en las conexiones o tramos de los ductos del sistema, sistemas de ventilación que no están diseñados o instalados correctamente, entre otros. Es por ello por lo que se genera la misma necesidad de eliminar este tipo de inconvenientes para maximizar la eficiencia energética y el rendimiento del sistema de climatización.

## **Implementación**

La implementación de esta medida se puede realizar sin requerir costos adicionales de mantenimiento o inversión, ya que comprenden acciones que pueden ser aplicadas o atendidas por el personal de la institución sin realizar intervenciones mayores en los equipos.

Es importante tomar en consideración que en los ajustes de temperatura diversos autores aseguran que el disminuir un grado de temperatura significa alrededor de 8% de consumo con respecto al anterior. Entonces, por ejemplo, en la oficina de prensa, en la que se tiene una lectura de temperatura de 22 °C, el ajuste a la temperatura propuesta de diseño de 24 °C se presentaría así:

**Tabla N° 18.** Consumo por cambio en la temperatura de un aposento.

Nivel	Aposento	Temperatura (°C)	Consumo (BTU/h)	Consumo (kW)	Consumo semanal (h)	Consumo mensual (kW/h)	Consumo de emisiones (TonCO <sub>2</sub> )	Costo mensual
3	Oficina de prensa	24	76 000	0.790	168	530.88	0.367	€ 36 949.25
		22				573.35	0.396	€ 39 905,16

Como se describe en la tabla N° 16, se presentaría un ahorro mensual de alrededor de €3 000 por la corrección en la temperatura de este aposento.

### Recomendación

Valorar la necesidad de mantener las puertas de los distintos espacios de trabajo abiertas a fin de balancear y mejorar la distribución de aire en el edificio, así como realizar una campaña de formación enfocada en la eficiencia energética. La capacitación y las directrices de la administración para los usuarios de los sistemas de aire acondicionado es vital para alcanzar el potencial de ahorro energético estimado.

Revisar los difusores y sus terminales a fin de reubicarlas de acuerdo con el requerimiento de aire en cada recinto y, aunado a esto corregir la temperatura en los aposentos de acuerdo con lo recomendado por el diseño y uso del edificio.

➤ **OCE N° 3. Implementación de acabados o elementos para reducir la radiación solar a través de los vidrios (ventanas)**

### **Discusión**

Esta medida no busca mejorar la eficiencia energética en los equipos sino más bien optimizar los estados de confort térmico, de manera que se reduzca la utilización de los equipos de aires acondicionados. El polarizado lo que busca es disminuir las cargas térmicas de estas áreas que entran por medio de la radiación solar a través de los vidrios.

La ganancia de calor debido a la radiación solar que entra por las ventanas depende del ángulo de incidencia con el que los rayos del sol entran en contacto con la superficie. El ángulo de incidencia depende a su vez de la hora, la latitud en donde se ubica el recinto y la altitud solar. Así mismo, la posición a la que se orienta la ventana determina el ángulo de incidencia con que los rayos del sol entran al recinto.

En las tablas de ganancia de calor implementadas para las memorias de cálculo del apartado 4.2.3 del presente documento se puede observar que existen horas en un día en que los componentes de ganancia externa de calor llegan a su punto de carga máxima, por ejemplo:

- Para las ventanas que dan al occidente las ganancias de calor máximas totales se tienen en la tarde a mediados del verano.
- Para las ventanas que dan al oriente las ganancias máximas de calor solar se tienen al principio o mediados del verano, por la mañana.

Estas consideraciones se pueden usar para ubicar las horas aproximadas de las cargas pico de los recintos, es decir, un aposento con un ventanal fijado en su costado norte tendría una carga máxima en el mes de junio y no en el mes de abril, el cual es considerado el mes más cálido en San José.

Las mejoras en las ventanas pueden ahorrar energía al reducir las cargas térmicas de calefacción y refrigeración del edificio, además de proveer un ambiente con un nivel confortable de iluminación (Krtati). Se pueden realizar mejoras eficientes en energía en todos los componentes de un conjunto de ventanas, incluido:

- Aislar los separadores entre los paneles de vidrio puede reducir la transferencia de calor por conducción.
- La instalación de múltiples capas de recubrimiento o película puede reducir la transferencia de calor por radiación.
- Proporcionar dispositivos de sombreado exteriores puede reducir la transmisión de radiación solar al espacio ocupado.

Para determinar con precisión el rendimiento energético de las mejoras en ventanas generalmente se necesitan técnicas de modelado dinámico por hora, ya que la abertura de las ventanas puede tener un impacto en las cargas térmicas del edificio mediante varios mecanismos.

Para efectos de esta auditoría se realizó una cuantificación de estos datos teóricos con un ejercicio de ganancia de calor, debido a la radiación solar que entra por las ventanas del comedor del segundo nivel. Este espacio cuenta con un ventanal en dos de sus costados: norte y este, los cuales abarcan casi la totalidad de la pared que penetran.

Para calcular las ganancias de calor debido a la radiación solar se utilizó el procedimiento de extraer los datos de la memoria de cálculo realizada para este aposento en el apartado 4.2.3 y se simuló un escenario con la utilización de vidrios con polarizado reflectivo. En las tablas a continuación se detallan los datos de los escenarios creados para el mes de abril a las 12 y 14 horas del día, mes y horas seleccionados, de acuerdo con la sección 4.2.2.1 del presente documento como escenarios críticos en el confort térmico. En las tablas N° 11 y 12 se refleja la ganancia solar a través de vidrios claros o sencillos y en las tablas N° 13 y 14 ganancia solar a través de vidrios con polarizado reflectivo:

Donde:

- El factor solar se expresa en BTH/h/ft<sup>2</sup>.
- El coeficiente solar (SGHC, por sus siglas en inglés) se expresa en BTH/h/ft<sup>2</sup>.
- Las ventanas cuentan con persianas venecianas en los costados norte y este.

**Tabla N° 19.** Ganancia solar por irradiación en ventanas, comedor nivel dos, a las 12 h en el mes de abril.  
**Vidrio Claro.**

Orientación	Cantidad	Área de la ventana		Factor Solar	Coeficiente Solar	BTU/h
		Altura (pies)	Ancho (pie)			
Norte	9	6,56	4,59	14	0,55	2086,65072
Norte	1	5,73	4,59	15	0,55	216,980775
Oeste	-	-	-	-	-	-
Sur	1	4,26	4,59	14	0,87	238,160412
Este	6	6,56	4,59	14	0,55	1391,10048
<b>Total (BTU/h)</b>						<b>3932,892387</b>

**Tabla N° 20.** Ganancia solar por irradiación en ventanas, comedor nivel dos, a las 07 h en el mes de octubre.  
**Vidrio Claro.**

Orientación	Cantidad	Área de la ventana		Factor Solar	Coeficiente Solar	BTU/h
		Altura (pies)	Ancho (pie)			
Norte	9	6,56	4,59	8	0,55	1192,37184
Norte	1	5,73	4,59	8	0,55	115,72308
Oeste	-	-	-	-	-	-
Sur	1	4,26	4,59	28	0,87	476,320824
Este	6	6,56	4,59	130	0,55	12917,3616
<b>Total (BTU/h)</b>						<b>14701,77734</b>

**Tabla N° 21.** Ganancia solar por irradiación en ventanas, comedor nivel dos, a las 14 h en el mes de abril. **Vidrio Claro.**

Orientación	Cantidad	Área de la ventana		Factor Solar	Coeficiente Solar	BTU/h
		Altura (pies)	Ancho (pie)			
Norte	9	6,56	4,59	14	0,55	2086,65072
Norte	1	5,73	4,59	15	0,55	216,980775
Oeste	-	-	-	-	-	-
Sur	1	4,26	4,59	14	0,87	238,160412
Este	6	6,56	4,59	14	0,55	1391,10048
<b>Total (BTU/h)</b>						<b>4081,938867</b>

*Tabla N° 22. Ganancia solar por irradiación en ventanas, comedor nivel dos, a las 18 h en el mes de octubre. Vidrio Claro.*

Orientación	Cantidad	Área de la ventana		Factor Solar	Coeficiente Solar	BTU/h
		Altura (pies)	Ancho (pie)			
Norte	9	6,56	4,59	0	0,55	0
Norte	1	5,73	4,59	0	0,55	0
Oeste	-	-	-	-	-	-
Sur	1	4,26	4,59	0	0,87	0
Este	6	6,56	4,59	0	0,55	0
<b>Total (BTU/h)</b>						<b>0</b>

*Tabla N° 23. Ganancia solar por irradiación en ventanas, comedor nivel dos, a las 12 h en el mes de abril. Polarizado reflectivo.*

Orientación	Cantidad	Área de la ventana		Factor Solar	Coeficiente Solar	BTU/h
		Altura (pies)	Ancho (pie)			
Norte	9	6,56	4,59	14	0,25	948,4776
Norte	1	5,73	4,59	15	0,25	98,627625
Oeste						0
Sur	1	4,26	4,59	14	0,87	238,160412
Este	6	6,56	4,59	14	0,25	632,3184
<b>Total (BTU/h)</b>						<b>1917,584037</b>

*Tabla N° 24. Ganancia solar por irradiación en ventanas, comedor nivel dos, a las 07 h en el mes de octubre. Vidrio reflexivo.*

Orientación	Cantidad	Área de la ventana		Factor Solar	Coeficiente Solar	BTU/h
		Altura (pies)	Ancho (pie)			
Norte	9	6,56	4,59	8	0,25	541,9872
Norte	1	5,73	4,59	8	0,25	52,6014
Oeste	-	-	-	-	-	-
Sur	1	4,26	4,59	28	0,87	476,320824
Este	6	6,56	4,59	130	0,25	5871,528
<b>Total (BTU/h)</b>						<b>6942,437424</b>

**Tabla N° 25. Ganancia solar por irradiación en ventanas, comedor nivel dos, a las 14 h en el mes de abril. Polarizado reflexivo.**

Orientación	Cantidad	Área de la ventana		Factor Solar	Coeficiente Solar	BTU/h
		Altura (pies)	Ancho (pie)			
Norte	9	6,56	4,59	15	0,25	1016,226
Norte	1	5,73	4,59	15	0,25	98,627625
Oeste						0
Sur	1	4,26	4,59	14	0,87	238,160412
Este	6	6,56	4,59	14	0,25	632,3184
<b>Total (BTU/h)</b>						<b>1985,332437</b>

**Tabla N° 26. Ganancia solar por irradiación en ventanas, comedor nivel dos, a las 18 h en el mes de octubre. Vidrio Reflexivo.**

Orientación	Cantidad	Área de la ventana		Factor Solar	Coeficiente Solar	BTU/h
		Altura (pies)	Ancho (pie)			
Norte	9	6,56	4,59	0	0,55	0
Norte	1	5,73	4,59	0	0,55	0
Oeste	-	-	-	-	-	-
Sur	1	4,26	4,59	0	0,87	0
Este	6	6,56	4,59	0	0,55	0
<b>Total (BTU/h)</b>						<b>0</b>

De las tablas anteriores se obtienen los siguientes resultados de carga calórica, calculados en las dos épocas del año, en sus horas de climáticas pico:

**Tabla N° 27. Resumen total carga calórica por irradiación de vidrios en el comedor, nivel 2.**

Época del año	Hora del día (h)	Vidrio claro	Vidrio reflexivo	Carga calórica extra
<b>Cálida</b>	12	3932,89 BTU/h	1917,58 BTU/h	2018,31 BTU/h
	14	4081,93 BTU/h	1985,33 BTU/h	2106,60 BTU/h
<b>Fría</b>	07	14701,77 BTU/h	6942,43 BTU/h	7759,34 BTU/h
	18	0 BTU/h	0 BTU/h	0 BTU/h

En la época cálida, dado que a las 14 h del día se presenta el consumo mayor de energía se puede observar en los resultados que las ganancias de calor que presenta el vidrio con polarizado reflectivo son severamente menores que con el vidrio claro, se observa que existe un total de 2096,61 BTU/h, que no es necesario enfriar o retirar del espacio mediante el uso del equipo de aire acondicionado, lo que representa un ahorro de 2% de consumo de energía diaria. Por su parte, en la época fría únicamente se presenta una ganancia por irradiación solar en una de las horas estimadas como más frías del año, considerándose únicamente un carga de calor a las 07 horas, sin embargo, este representa un consumo de ahorro mayor ya que se traduce en un 7% de ahorro de consumo de energía diaria.

Este ejercicio se podría desarrollar para todos los aposentos que poseen ventanas perimetrales, a fin de conocer la disminución en la carga calórica y cuanto significaría esto en el consumo de energía del aposento. Es importante observar que la implementación de esta medida permite, además, dar confort lumínico al espacio, ya que en el mercado existen polarizados reflexivos que reducen hasta en 78% el ingreso de calor y brillo ocasionados por el sol. Se disminuye también el ingreso de rayos UV sin alterar la visión ni la imagen exterior. Por consiguiente, esta medida posibilitaría la eliminación de las persianas lo cual permitirá una mayor iluminación natural y reduciría el uso de las luminarias.

En cuanto a los costos de esta medida se consultó a la empresa Polarizados Guillen y se obtuvo un costo de ₡11 500 por metro cuadrado. Siguiendo con el caso anterior, el ventanal norte tiene un total de 47,17 m<sup>2</sup> y el ventanal un total de 10,09 m<sup>2</sup>, lo que representaría una inversión de ₡658 145.

- **Implementación**

Si bien esta medida no representa un nivel alto de ahorro energético, al implementarla se asocia con la eficiencia de otros sistemas, como es el de la iluminación. La reducción de luminosidad que puede generar la radiación a través de ventanas puede ser disminuida por láminas reflexivas promoviendo el uso de iluminación natural.

- **Recomendación**

Implementar la medida sobre todo en aquellas ventanas en que se ubican sobre las fachadas este y oeste. Como alternativa se pueden instalar elementos físicos como *louvers* o parasoles, considerando el confort lumínico del espacio.

- **OCE N° 4. Realizar el análisis de los equipos de acuerdo con su vida útil y su retorno de inversión.**

### **Discusión**

El análisis de los equipos de acuerdo con su vida útil y el retorno de la inversión es un proceso importante para evaluar la eficiencia y rentabilidad de los activos utilizados en un edificio u organización. Este análisis permite tomar decisiones informadas sobre la adquisición, reemplazo o mantenimiento de los equipos.

La vida útil se refiere al tiempo estimado durante el cual se espera que un equipo funcione de manera eficiente y confiable antes de que sea necesario reemplazarlo. Es importante tener en cuenta que la vida útil puede variar según factores como la calidad del equipo, el mantenimiento adecuado y el uso intensivo.

El retorno de la inversión (ROI, por sus siglas en inglés), es una métrica financiera que evalúa la rentabilidad de una inversión. En el contexto de los equipos, el ROI se refiere al tiempo necesario para recuperar el costo de la inversión inicial de los ahorros generados por el equipo en términos de eficiencia energética, reducción de costos operativos o mejoras en la productividad.

Al realizar el análisis es importante considerar lo siguiente:

- Costo de adquisición. Incluye el precio de compra del equipo y cualquier costo adicional, como instalación y puesta en marcha.

- Costos operativos. Se consideran los costos de energía, mantenimiento, reparaciones y cualquier otro gasto relacionado con el funcionamiento del equipo durante su vida útil.
- Eficiencia energética. Evalúa la eficiencia energética del equipo y cómo puede contribuir a reducir los costos de energía a lo largo del tiempo. Equipos más eficientes pueden tener un ROI más rápido debido a los ahorros en consumo de energía.
- Beneficios económicos. Los beneficios económicos que se obtendrán durante la vida útil del equipo; que pueden incluir ahorros en costos de energía, reducción de gastos operativos, aumento de productividad o mejoras en la eficiencia.
- Valor residual. Este corresponde al valor estimado del equipo al final de su vida útil. Esto puede ser relevante si se espera que el equipo pueda ser revendido o utilizado para otro propósito después de su vida útil inicial.

Al realizar el análisis, se comparan los costos y beneficios mencionados anteriormente para determinar si la inversión en el equipo es rentable. Si el retorno de la inversión es positivo y el equipo proporciona beneficios económicos significativos durante su vida útil puede considerarse una opción viable. Sin embargo, si el retorno de la inversión es negativo o los costos superan los beneficios es posible que se deba considerar una alternativa más económica o eficiente.

Es importante tener en cuenta que el análisis de la vida útil y el retorno de la inversión es una herramienta de evaluación, y otros factores como la calidad del equipo, los requisitos específicos del proyecto y las consideraciones ambientales también deben tenerse en cuenta al tomar decisiones de inversión.

Con respecto a los equipos de aire acondicionado del edificio, estos tienen entre 5 y 10 años de antigüedad. Aquellos instalados en el 2012 representan 39% de los equipos en funcionamiento, a pesar de que su desempeño continúa dentro de los rangos adecuados ya se encuentran dentro de los límites del ciclo de vida indicados por algunos fabricantes para ellos. Durante la auditoría no se observaron evidencias contundentes de decaimiento en la climatización del edificio que obedeciesen a la longevidad de los equipos; no obstante, las

variables de recolección de datos utilizadas son limitantes y arrojan conclusiones generales del desempeño del sistema, es decir, se presentan resultados de consumo energético global y no por equipo o zonas, basados en el consumo del recibo eléctrico y en las capacidades nominales de cada equipo, aunado a la influencia de las malas prácticas en el uso de los espacios climatizados mencionadas en la OCE N° 2.

Es importante destacar que los equipos del sistema de aire acondicionado que tiene el edificio se encuentran en muy buenas condiciones, dado su programa de mantenimiento. No se observaron evidencias de fugas a lo largo de los ductos de distribución o en las unidades exteriores. No se observó presencia o acumulación de polvo en los difusores o rejillas y el estado físico de todos los equipos es óptimo.

Actualmente no se posee una matriz o base de datos que registre el ROI de los equipos adquiridos para el edificio o que contabilice en tiempo los costos del mantenimiento. Existen incluso equipos de los que se desconoce su año de instalación y se maneja un estimado para la programación de sus mantenimientos. Disponer de una base de datos mediante la cual sea posible fiscalizar el comportamiento de los equipos a través del tiempo y de acuerdo con su carga de trabajo esperada ofrece un panorama más amplio a la hora de determinar si las labores de mantenimiento definidas continúan siendo las correctas o inclusive las necesarias. Si bien un equipo pueda continuar en operación debido a su uso correcto, es inevitable que este llegue a su punto máximo de operación y comience a disminuir su eficiencia aumentando su costo de operación.

Un complemento del análisis del ROI es conocer el nivel económicamente óptimo de mantenimiento para los equipos. Con esto se pueden conocer la evolución del desempeño del proceso y la identificación de resultados anormales o tendencias tanto positivas como negativas. La utilidad de medir los procesos no es otra que la de conocer el estado actual de sus actividades y recolectar datos históricos para tener un seguimiento a lo largo del tiempo. Con ello se pueden fijar objetivos y valores de referencia para saber si nuestras actividades funcionan correctamente, o si debemos realizar cambios.



acuerdo con el porcentaje de valor del costo inicial del equipo. Usualmente se tiende a utilizar un factor de 70%, asumiendo que, si el valor de inversión se supera en 70%, ya no es factible continuar realizando intervenciones.

### **Implementación**

La implementación de esta medida se puede realizar sin requerir costos adicionales de mantenimiento o inversión, ya que comprenden acciones que pueden ser desarrolladas o atendidas por el personal de la institución y no requiere realizar intervenciones en los equipos.

Si bien tomará tiempo el confeccionar la matriz inicial el ahorro en la toma de decisiones debido al respaldo de datos justificará la inversión del tiempo.

### **Recomendación**

Crear las bases de datos para calcular los retornos de inversión y establecer los niveles económicamente óptimos de mantenimiento para los equipos. Se recomienda la utilización de hojas de cálculo o software que apoyen y agilicen el proceso.

## **Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones**

## 5.1. Conclusiones

- 1) Se realiza un inventario de los equipos del sistema de aire acondicionado del edificio el cual se detalla en el anexo 1 del presente documento. Se organizan según el nivel de ubicación, dado que la base de datos mantiene la información con un orden con prioridades distintas. Se dividió la información recolectada según el tipo de tecnología, consumo en potencia de enfriamiento y su costo en colones, y estos datos se asocian con el uso del aposento que acondicionan y su tamaño en metros cuadrados. Una vez listo el inventario de los equipos del sistema de aire acondicionado se analizan los datos en la sección 4.4.1 del presente documento, específicamente en las OCE's N° 1 y N° 2, en donde se observa que existen equipos con sobredimensionamiento, con una cantidad de años de funcionamiento de diez años o más y la combinación de tecnologías en un mismo nivel del edificio.
- 2) Para concretar el objetivo de realizar el auditaje del sistema de aire acondicionado, en primera instancia se procedió a la recopilación de las características del edificio, tal como se muestra en la sección 4.2 del presente documento, en donde se establecieron los aposentos por acondicionar, las condiciones climatológicas que influyen en la zona en donde se ubica el edificio y las características de operación de los equipos de aire acondicionado. Además, se realizó una investigación sobre la tarifa de consumo eléctrico que aplica según la categorización del edificio, la cual corresponde a una tarifa de tipo preferencial que disminuye el costo por consumo en 30%.
- 3) Como se detalló en la sección 4.2.3 del presente documento, se desarrolló el cálculo de carga térmica de cinco recintos a modo de ejemplo, a fin de verificar el desempeño actual del sistema de aire acondicionado del edificio. Una vez realizado el muestreo contra los datos obtenidos de los equipos instalados en sitio se detectan condiciones que no son óptimas, en aspectos de utilización de la energía para los distintos recintos del edificio. Por lo tanto, de acuerdo con los resultados obtenidos se definen problemas de sobredimensionamiento, uso incorrecto de los espacios climatizados, temperatura de funcionamiento inferiores a las recomendadas y manipulación indebida de los equipos, lo cual, para efectos de la auditoría energética, se definen en contra de los principios de eficiencia energética, los cuales deberían intervenir en un corto o mediano plazo.

- 4) Se realiza un análisis del sistema de aire acondicionado, dividido en cuatro fases de auditoría, que son: Fase I: Recopilación inicial de información, Fase II: Inventario y mediciones, Fase III: Análisis de datos y medidas de ahorro y Fase IV: Revisión y control de calidad, en las cuales, según se observa en las secciones 4.1, 4.2, 4.3, y 4.4 del capítulo 4, se encontraron datos importantes como usos de los equipos, como labores cotidianas de los usuarios y características del envolvente del edificio que afectan el desempeño del sistema, temperaturas de funcionamiento y uso de los equipos, entre otras.
- 5) Se definen cuatro oportunidades de conservación de la energía las cuales abarcan los fenómenos que influyen en el desempeño del sistema de aire acondicionado. La OCE N° 1 está relacionada con los parámetros de diseño del sistema de aire acondicionado. Con esta medida se pretende un ahorro anual de aproximadamente de ¢ 885 679,44. La OCE N° 2 expone los usos incorrectos del sistema de aire acondicionado, con la que se pretende un ahorro anual de aproximadamente de ¢84 444,36, más las acciones que no son posibles medir en este punto de estudio. La OCE N° 3 detalla acciones para reducir la carga térmica en los aposentos y en la OCE N° 4, y tiene la importancia de tener registros de la adquisición de sus equipos y también los datos de funcionamiento en años de servicio y eficiencia energética. Estas dos últimas medidas no es posible representarla en el aspecto económico debido a sus variables. Estas medidas se presentan mediante una discusión, una propuesta de implementación y una recomendación de aplicarla.
- 6) Tal como se muestra en la sección 4.4.1 del presente documento las estimaciones para implementar las OCE se traducen en ¢970 123,8 anuales. Al ser el edificio parte del sector público las acciones de mejoras quedan sujetas a la aprobación del presupuesto institucional. Por ello se debe hacer una cotización para la implementación de las oportunidades de conservación de energía definidas e incluirlas dentro del plan de trabajo.
- 7) Tal como se describe en la OCE N°2, se determinó que la manipulación de los equipos de aire acondicionado por parte de los usuarios influye directamente en el desempeño correcto de este por tanto es imperativo llevar a cabo programa de concienciación sobre el uso correcto de estos sistemas. También educar a los ocupantes del edificio sobre la importancia de utilizar la energía de manera eficiente, y promover prácticas como

mantener una temperatura adecuada para el confort sin excesos, y utilizar los espacios climatizados de forma adecuada o no manipular los equipos o hacerlo a discreción.

## **5.2. Recomendaciones**

- 1) Realizar una actualización del plano mecánico y el diagrama de cada equipo del edificio. Actualmente se cuenta con un conjunto de planos con fecha última de actualización de 2019, los cuales, no tienen la distribución tanto arquitectónica como mecánica actual del edificio. La implementación de esta medida facilitará la comprensión de la distribución de cada conjunto de acondicionamiento y permitirá un análisis más riguroso para un mayor seguimiento de las medidas propuestas en este trabajo.
- 2) Realizar un registro del retorno de la inversión de los equipos mecánicos. Actualmente no se cuenta con un registro que permita saber si la inversión realizada para la compra de cada uno de los equipos del sistema de aire acondicionado ya ha sido retornada, según el tiempo de uso de cada uno de estos equipos. Esta medida permitirá la toma de decisiones a la hora de establecer las rutinas de mantenimiento.
- 3) Realizar un cálculo completo de la carga térmica del edificio. Es imperativo conocer la carga térmica demandada en el edificio con las condiciones actuales de uso. Esta medida permitirá implementar de manera eficiente la climatización de cada aposento.
- 4) Trasladar los equipos a otros edificios en donde se requiera una mayor carga de climatización. Dado que la institución posee otros edificios que se encuentran climatizados, se recomienda revisar si es posible trasladar aquellos equipos que, debido a los datos obtenidos en esta auditoría, se consideren de muy alto consumo para la demanda del edificio.
- 5) Se recomienda tener a mano la liquidación de las facturas eléctricas dentro del periodo requerido, a fin de evitar cargos adicionales y dar un mayor aprovechamiento a la tarifa preferencial con que cuenta la institución.

## **Capítulo 6. Propuesta**

## **Descripción**

Con el proyecto se pretende una mejora en el consumo energético del sistema de aire acondicionado y poder replicarlo con éxito en los demás sistemas del edificio, eléctrico, mecánico, entre otros.

Como parte del diagnóstico se obtuvo el dato del consumo energético del edificio y se hizo una visita técnica del lugar que permitió hacer las mediciones de las áreas por auditar

Por medio de la información recolectada en el diagnóstico se determinó que el sistema de aire acondicionado tiene inconsistencias que afectan no solo el confort de los ocupantes del edificio sino también el costo de implementación.

Por medio del análisis de resultado en el capítulo IV del presente documento se determina que hay oportunidad de mejorar el aprovechamiento de la energía y por ende la eficiencia energética.

## **Propuesta de implementación del diseño**

Tal como se mencionó en el capítulo IV del presente documento es imperativo realizar una actualización de los parámetros de diseño del sistema de aire acondicionado, dadas las inconsistencias que se presentan en cuanto a eficiencia y consumo energético.

Para llevar a cabo la implementación de esta actualización de los parámetros de diseño del sistema de aire acondicionado se propone seguir un enfoque estructurado y sistemático que garantice su éxito. El proceso de implementación se divide en varias etapas, comenzando con un análisis exhaustivo de las necesidades y requisitos del sistema.

En primer lugar, es necesario realizar una evaluación completa del sistema de aire acondicionado existente, e identificar sus fortalezas y debilidades. Esto incluye la revisión de los componentes principales, como el compresor, el condensador, el evaporador y los conductos de distribución de aire. Además, se deben considerar factores externos, como el tamaño y la distribución del espacio por enfriar, así como la carga térmica estimada, como se realizó en la presente auditoría.

Una vez que se hayan identificado las áreas de mejora se debe proceder a las medidas que se definan como adecuadas para el mayor aprovechamiento de los equipos existentes. Esto implica revisar a fondo el desempeño de los equipos, considerando su eficiencia energética, capacidad de enfriamiento y compatibilidad con el entorno. Además, se debe verificar la ubicación óptima de los componentes y la distribución del aire acondicionado para lograr una temperatura uniforme en todo el espacio.

Es importante garantizar que los equipos que se tienen actualmente aun cuentan con el desempeño correcto y no generan costos adicionales por operar. En esta etapa, se puede considerar la reubicación de unidades evaporadoras o el cambio de equipos que no aporten ahorro.

Por último, se debe proporcionar capacitación al personal encargado del mantenimiento y operación del sistema de aire acondicionado. Esto garantizará que se realicen las tareas de mantenimiento adecuadas de forma regular y se minimicen los tiempos de inactividad. Además, se pueden establecer programas de monitoreo y seguimiento continuos para evaluar el rendimiento del sistema a lo largo del tiempo y realizar ajustes si es necesario.

## Referencias

Almiñana, D. G. (2007). *Instalaciones de refrigeración y aire acondicionado*. Barcelona: UOC.

American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2010). *Standard 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2021). *ASHRAE Handbook - Fundamentals 2021*. American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

ANSI/ASHRAE/IES (2021). *Energy Efficiency in Existing Buildings*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Bhattacharjee, S., Hernández, A. E., & Brito, P. A. (2016). *Termodinámica*. Pearson Education.

Carballo, C. A. J. (2017a). *Calor y calorimetría*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. <https://repositoriotec.tec.ac.cr>

Carballo, C. A. J. (2017b). *Temperatura y expansión térmica*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. <https://repositoriotec.tec.ac.cr>

Castañeda, J. P. (Ed.). (2006). *Escenarios y Estrategias (Vol. 01, Issue 01)*. STRATEGY LTDA.

Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2019). *Termodinámica 9<sup>o</sup> edición*. McGraw-Hill Interamericana.

Comisión nacional para el uso eficiente de la energía, CONUEE. (2019). *Sistemas de aire acondicionado*.

<https://www.conuee.gob.mx/transparencia/boletines/APF/documentos/aireacondicionadoultimo.pdf>

*El tiempo durante todo el año en cualquier lugar del mundo - Weather Spark.* (s. f.).  
<https://es.weatherspark.com/>

Freedman, R. A., & Sears, F. (2018). *Física Universitaria con física moderna 14° edición.* Pearson Educación.

NIRAS IP CONSULT GmbH. (2019). *Guía para realizar una auditoría energética.*  
[www.minenergias.gob.bo](http://www.minenergias.gob.bo)

Pita, E. G. (2014). *Acondicionamiento de Aire - principios y sistemas 2b: Edición.* Compañía Editorial Continental.

*Psicrometría.* (s. f.). <http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/CartaPsy.htm>

Prada O. D, Muñoz L. I y. Berón S. J. V. (2007). *Guía didáctica para el desarrollo de Auditorías Energéticas.*

Quadri, N. P. (2008). *Instalaciones de aire acondicionado y calefacción.* Librería y editorial Alsina.

The Trane Company. (1996). *Air Conditioning Manual.* The Trane Company.

Woodroof, E. A. (2011, enero 1). Emissions Calculator - Download. Profitablegreen.  
<https://www.profitablegreensolutions.com/post/2016/08/25/pgs-emissions-calculator>

Zelaya, M. R. (2015). *Manual para la preparación de auditorías energéticas y evaluación financiera de proyectos de eficiencia energética.*

## Anexos

### Anexo 1. Inventario de equipos del sistema de aire acondicionado.


LEVANTAMIENTO DE EQUIPOS								
Estación	Nivel	Sistema	Ubicación	Equipo	Tipo de Equipo	Marca	Modelo	Serie
OFICINAS CENTRALES	SÓTANO	AIRE ACONDICIONADO	ARCHIVO (SOTANO)	MINI SPLIT	PISO CIELO	MCQUAY	MQC104060CFC216A	SFF0DLALV02200011
			ARCHIVO (SOTANO)	MINI SPLIT	PISO CIELO	WESTINGHOUSE	WIFXV-60SVW2	SN 2400737860361080160011
	CUARTO TI		MINI SPLIT	PARED ALTA	DAIKIN	FTK512PL216B	3G80700004593	
	CUARTO ELECTRICO		MINI SPLIT	PARED ALTA	LENNOX	LXGIAHMD01215P4	SN D20211259021387120431	
	RECEPCION ASECUBO		VRF	FAN COIL	SAMSUNG	AM018FNMDC/AA	NO LEGIBLE	
	1		RECEPCION	VRF	FAN COIL	SAMSUNG	AM024FNMDC/AA	NO LEGIBLE
	ASECUBO		VRF	FAN COIL	SAMSUNG	AM036FNMDC/AA	NO LEGIBLE	
	AUDITORIA		VRF	FAN COIL	SAMSUNG	AM048FNMDC/AA	Y7K4PALFC400001P	
	TIENDA ASECUBO		VRF	FAN COIL	SAMSUNG	AM096FNHDC/AA	NO LEGIBLE	
	PASILLO SERVICIOS GENERALES		VRF	FAN COIL	SAMSUNG	AM096FNHDC/AA	NO LEGIBLE	
	PROYECTOS		VRF	FAN COIL	SAMSUNG	AM024FNMDC/AA	Y7KOPALFB800008A	
	CUARTO TI		PRECISION	PRECISION	LIEBERT	PDX		
	CUARTO TI		PRECISION	PRECISION	LIEBERT	HPM		
	CUARTO ELECTRICO		MINI SPLIT	PARED ALTA	LENNOX	LXGIHGR012020P4	SN 3A65040000959	
	CUARTO ELECTRICO		MINI SPLIT	PARED ALTA	LENNOX	LXGIHGR012020P4	SN 3A65040000959	
	OFICINA DISCIPLINA LABORAL		VRF	FAN COIL	SAMSUNG	AM024FNMDC/AA	Y7KOPALFB800006R	
	LOBBY		VRF	FAN COIL	SAMSUNG	AM048FNMDC/AA	NO LEGIBLE	
	PASILLO TESORERIA		VRF	FAN COIL	SAMSUNG	AM048FNMDC/AA	NO LEGIBLE	
	DIRECCIÓN ADMINISTRATIVA		VRF	FAN COIL	SAMSUNG	AM048FNMDC/AA	NO LEGIBLE	
	CONTABILIDAD		VRF	FAN COIL	SAMSUNG	AM048FNMDC/AA	NO LEGIBLE	
	ENTRADA TALENTO HUMANO		VRF	FAN COIL	SAMSUNG	AM048FNMDC/AA	Y7K4PALF800024H	
	TALENTO HUMANO, SALIDA DE EMERGENCIA		VRF	FAN COIL	SAMSUNG	AM048FNMDC/AA	NO LEGIBLE	
	COMEDOR		VRF	FAN COIL	SAMSUNG	AM029KNMDC/AA	NO LEGIBLE	
	TALENTO HUMANO		VRF	FAN COIL	SAMSUNG	AM076FNHDC/AA	NO LEGIBLE	
	TALENTO HUMANO		VRF	FAN COIL	SAMSUNG	AM076FNHDC/AA	NO LEGIBLE	
	SALA DE RUNIONES PROVEEDURÍA		VRF	FAN COIL	SAMSUNG	AM076FNHDC/AA	NO LEGIBLE	
	COMEDOR		VRF	FAN COIL	SAMSUNG	AM076FNHDC/AA	BOZUP8HF900017T	
	OFICINA DON HECTOR		VRF	CASSETTE	DAIKIN	FDT71KXE6D	SN 971206317FK	
	SALA DE CONSEJO DIRECTIVO		VRF	MULTISPLIT CONDENSADOR	MITSUBISHI	FDT71KXE6D		
	SALA DE CONSEJO DIRECTIVO		VRF	CASSETTE	MITSUBISHI	FDT71KXE6D	SN 928203644BK	
	SALA DE CONSEJO DIRECTIVO		VRF	FAN COIL	SAMSUNG	AM048FNMDC/AA	B102GF700101D	
	RECEPCION		VRF	FAN COIL	SAMSUNG	AM048FNMDC/AA	NO LEGIBLE	
	SOA		VRF	FAN COIL	SAMSUNG	AM048FNMDC/AA	NO LEGIBLE	
	PLANIFICACIÓN		VRF	FAN COIL	SAMSUNG	AM048FNMDC/AA	NO LEGIBLE	
	DIRECCIÓN GENERAL (FRENTE A SALA CONSEJO)		VRF	FAN COIL	SAMSUNG	AM076FNHDC/AA	BOZUP8HF90003K	
	RECEPCION		VRF	FAN COIL	SAMSUNG	AM076FNHDC/AA	BOZUP85H900048	
	ASESORÍA JURÍDICA		VRF	FAN COIL	SAMSUNG	AM076FNHDC/AA	NO LEGIBLE	
	SALA MORITA		VRF	FAN COIL	SAMSUNG	AM076FNHDC/AA	NO LEGIBLE	
	JEFE DE OPERACIONES		VRF	FAN COIL	SAMSUNG	AM076FNHDC/AA	BOZUP8HF900028J	
	SOBRE TECHO		VRF	CONDENSADOR	MITSUBISHI	FDC155KXEN6	V15250621EF	
	SOBRE TECHO		VRF	CONDENSADOR	SAMSUNG	AM144FXVAFH2AA	B840P3GK300001M	
	SOBRE TECHO		VRF	CONDENSADOR	SAMSUNG	AM144FXVAFH2AA	NO LEGIBLE	
	SOBRE TECHO		VRF	CONDENSADOR	SAMSUNG	AM072FXVAFH	BOZ5P3GI300007Z	
	SOBRE TECHO		VRF	CONDENSADOR	SAMSUNG	AM144FXVAFH2AA	B102P3GF700108H	
	SOBRE TECHO		VRF	CONDENSADOR	SAMSUNG	AM144FXVAFH2AA	B102P3GF500019M	
	TECHO SOBRE RAMPA		VRF	CONDENSADOR	SAMSUNG	AM144FXVAFH	B102GF700101D	
	TECHO SOBRE RAMPA		VRF	CONDENSADOR	SAMSUNG	AM144FXVAFH	B102P3GF700089Y	
	TECHO SOBRE RAMPA		VRF	CONDENSADOR	SAMSUNG	AM144FXVAFH	B102GF700097W	
	TECHO SOBRE RAMPA		VRF	CONDENSADOR	SAMSUNG	AM120FXVAFH	BOZ2P3GF700039A	
	TECHO SOBRE RAMPA		VRF	CONDENSADOR	SAMSUNG	AM120FXVAFH	NO LEGIBLE	
SOBRE TECHO	VRF	CONDENSADOR	SAMSUNG	AM144FXVAFH2AA	B102P3GF500027E			
3								
CUBIERTA								

Ilustración 32. Inventario de equipos de sistema de aire acondicionado

LEVANTAMIENTO DE EQUIPOS								
Código AE	Alimentación	Capacidad BTU/H	Potencial nominal (W)	Tiempo mantenimiento General (horas)	Tiempo mantenimiento Profundo (horas)	Mantenimiento interno	Fecha de instalación	Horas de funcionamiento al día
AC-068	208/230V	60.000,00	6.521,73	0,75	1,5	SI	2018	9
AC-069	208/230V	58.000,00	4.374,05	0,75	1,5	SI	2018	15
AC-064	208/230V	12.000,00	1.256,00	0,75	1	SI	10/12/2021	24
AC-066	208/230V	12.000,00		0,75	1	SI	2018	24
AC-084	208/230V	18.000,00	3.920,00	3	4	SI	2012	9
AC-086	208/230V	24.000,00	220,00	3	4	SI	2012	9
AC-087	208/230V	36.000,00	290,00	3	4	SI	2012	9
AC-101	208/230V	48.000,00	430,00	3	4	SI	2012	9
AC-107	208/230V	96.000,00	1.227,00	3	4	SI	2012	9
AC-108	208/230V	96.000,00	1.227,20	3	4	SI	2012	9
AC-109	208/230V	24.000,00	220,00	3	4	SI	2012	9
AP-005	208	85.000,00	19.500,00	1	1,5	NO	2018	24
AP-006	208	85.000,00	26.200,00	1	1,5	NO	2018	24
AC-065	208/230V	12.000,00	1.000,00	0,75	1	SI	2018	24
AC-067	208/230V	12.000,00	1.000,00	0,75	1	SI	2018	24
AC-085	208/230V	24.000,00	220,00	3	4	SI	2012	9
AC-092	208/230V	48.000,00	430,00	3	4	SI	2012	9
AC-093	208/230V	48.000,00	430,00	3	4	SI	2012	9
AC-094	208/230V	48.000,00	430,00	3	4	SI	2012	9
AC-095	208/230V	48.000,00	430,00	3	4	SI	2012	9
AC-096	208/230V	48.000,00	430,00	3	4	SI	2012	9
AC-097	208/230V	48.000,00	430,00	3	4	SI	2012	9
AC-099	208/230V	26.000,00		3	4	SI	2012	9
AC-102	208/230V	76.000,00	530,00	3	4	SI	2012	9
AC-105	208/230V	76.000,00	530,00	3	4	SI	2012	9
AC-106	208/230V	76.000,00	530,00	3	4	SI	2012	0,1
AC-110	208/230V	76.000,00	530,00	3	4	SI	2012	9
AC-071	230V	71.000,00	40,00	0,75	1,5	SI	2018	9
AC-591		95.000,00	30,00				2018	0,1
AC-072	230V	28.000,00	40,00	0,75	1,5	SI	2018	0,1
AC-078	208/230V	48.000,00	540,00	0,5	0,75	SI	2012	0,1
AC-089	208/230V	48.000,00	430,00	3	4	SI	2012	9
AC-090	208/230V	48.000,00	430,00	3	4	SI	2012	9
AC-091	208/230V	48.000,00	430,00	3	4	SI	2012	9
AC-098	208/230V	76.000,00	530,00	3	4	SI	2012	9
AC-100	208/230V	76.000,00	790,00	3	4	SI	2012	9
AC-103	208/230V	76.000,00	790,00	3	4	SI	2012	9
AC-104	208/230V	76.000,00	790,00	3	4	SI	2012	1
AC-111	208/230V	76.000,00	790,00	3	4	SI	2012	9
AC-070	230V	155.000,00	4.474,20	0,5	0,75	SI	2018	9
AC-073	208/230V	162.000,00	11.140,00	0,5	0,75	SI	2012	9
AC-074	208/230V	162.000,00	11.140,00	0,5	0,75	SI	2012	9
AC-075	208/230V	79.000,00	5.800,00	0,5	0,75	SI	2012	9
AC-076	208/230V	162.000,00	11.140,00	0,5	0,75	SI	2012	9
AC-077	208/230V	162.000,00	11.140,00	0,5	0,75	SI	2012	9
AC-078	208/230V	154.000,00	13.400,00	0,5	0,75	SI	2012	9
AC-079	208/230V	154.000,00	13.400,00	0,5	0,75	SI	2012	9
AC-080	208/230V	154.000,00	13.400,00	0,5	0,75	SI	2012	9
AC-081	208/230V	129.000,00	11.300,00	0,5	0,75	SI	2012	9
AC-082	208/230V	129.000,00	11.300,00	0,5	0,75	SI	2012	9
AC-083	208/230V	158.000,00	11.140,00	0,5	0,75	SI	2012	9

*Ilustración 33. Continuación inventario de equipos de sistema de aire acondicionado*

## Anexo 2. Factura del consumo eléctrico

F-00	C-5		Compañía Nacional de Fuerza y Luz, S.A.				<b>NISE</b> <b>474572</b>
FACTURA	94957014		Cédula Jurídica 2-101-000046-36				
<b>CONSUMO SOCIAL O PREFERENCIAL (CS)</b>							
FACTURA ELECTRÓNICA No. _____							
CLAVE NUMÉRICA _____							
NOMBRE			BENEMERITO CUERPO DE BOMBEROS DE COSTA RICA		NÚMERO CÉDULA		
DIRECCIÓN EXACTA			AVENIDA 3 CALLE 18 BIS COSTADO NORTE COCA COLA		3007547060		
PROVINCIA			SAN JOSÉ		CANTÓN		
			SAN JOSÉ		DISTRITO		
			MERCED				
<b>DATOS DEL SERVICIO</b>							
TIPO DE SERVICIO	CONSTANTE	SUB ESTACIÓN	CIRCUITO	TRANSFORMADOR	LOCALIZACIÓN	NÚMERO DE MEDIDOR	
ENERGÍA	80	URUCA SUBT.	1904 SUB_URUCA_4	999999999999	1603300990	939797	
DEPÓSITO DE GARANTÍA	COSTO POR kWh DEL ALUMBRADO PÚBLICO	RAZÓN ESTIMACIÓN	FECHA FACTURACIÓN ACTUAL	FECHA FACTURACIÓN ANTERIOR	FECHA DE PRÓXIMA FACTURACIÓN	FECHA DE EMISIÓN - PUESTA AL COBRO	
¢ 991,045.00	¢ 3.40	NO ESTIMADA	15-05-2023	14-04-2023	14-06-2023	17-05-2023	
<b>CONSUMO EN ENERGÍA (kWh)</b>				<b>MÁXIMA DEMANDA (kW)</b>			
CONSUMO LEÍDO (kWh)	CONSUMO DIARIO kWh	COSTO kWh	LECTURA ACTUAL	LECTURA ANTERIOR	IMPORTE FACTURADO		
24720	797	¢ 69.60	37171	36862	1,108,200.00		
			DEMANDA FACTURADA		COSTO kW	IMPORTE FACTURADO	
			100.48		¢ 11,601.58	¢ 729,335.00	
			LECTURA ACTUAL		LECTURA ANTERIOR		
			134.58		133.33		
<b>FACTOR DE POTENCIA (%)</b>							
DEMANDA MÁX. FACTURADA (kW)		KVA MÁXIMOS		FACTOR POTENCIA (%)	MÍNIMO REQUERIDO	RECARGO POR BAJO FP	
100.48		.262		97.89	90	¢ 0.00	
<b>HISTÓRICO DE CONSUMO</b>							
MES/AÑO	ENERGÍA (kWh)	DEMANDA (kW)	FACTOR DE POTENCIA (%)	FACTOR DE CARGA (%)	DÍAS FACTURADOS	IMPORTE FACTURADO	
06-2022	22800	98.00	98.89	31.27	31	¢ 3,098,000.00	
07-2022	24800	89.12	99.33	36.23	32	¢ 3,082,005.00	
08-2022	24080	91.12	98.54	34.41	32	¢ 2,972,690.00	
09-2022	23600	95.28	98.20	34.40	30	¢ 2,986,910.00	
10-2022	22000	96.24	98.70	32.84	29	¢ 2,713,960.00	
11-2022	23600	93.28	97.78	34.01	31	¢ 2,598,270.00	
12-2022	23520	88.08	99.22	35.89	31	¢ 2,536,895.00	
01-2023	18720	84.32	99.17	31.90	29	¢ 2,244,255.00	
02-2023	22000	88.48	98.57	33.42	31	¢ 1,694,320.00	
03-2023	22560	90.48	98.56	34.63	30	¢ 1,735,595.00	
04-2023	21280	93.92	98.59	31.47	30	¢ 1,752,285.00	
05-2023	24720	100.48	97.89	33.07	31	¢ 2,048,340.00	
PROMEDIO MENSUAL	22,807	92.40	98.62	33.63		¢ 2,455,293.75	
<b>FACTURACIÓN</b>							
CÓD.	DETALLE	IMPORTE					
1	ENERGÍA	¢ 1,108,200.00					
2	DEMANDA	¢ 729,335.00					
3	PERDIDA POR TRANSFORMACION	¢ 38,485.00					
CVG	COSTO VARIABLE GENERACION	¢ 52,405.00					
CVD	COSTO VARIABLE GENERACION DEMANDA	¢ 34,425.00					
6	ALUMBRADO PÚBLICO	¢ 84,050.00					
IVG	IMPUESTO VALOR AGREGADO	¢ 0.00					
TRB	TRIBUTOS BOMBEROS	¢ 1,440.00					
VALOR EMISIÓN:		¢ 2,048,340.00					
SALDO ACTUAL:		¢ 2,048,340.00					
		MES AL COBRO		SUBTOTAL POR PAGAR			
		MAYO/2023		¢ 2,048,340.00			
		FECHA VENCIMIENTO		IMPUESTO DE VENTAS			
		30-05-2023		¢ 0.00			
		MES(ES) PENDIENTE(S)		TOTAL POR PAGAR			
		0		¢ 2,048,340.00			
		CARGO POR CANCELACIÓN					
		¢ 61,405.00					
A la fecha de emisión de la factura							
SI CANCELA DESPUES DEL VENCIMIENTO, SE LE COBRARÁ EN LA PRÓXIMA FACTURACIÓN UN CARGO 1							
AUTORIZADA MEDIANTE RESOLUCIÓN N° DGT-R-033-2019 - SAN JOSE, A LAS OCHO HORAS VEINTICINCO MINUTOS DEL DIA VEINTE DE JUNIO DE DOS MIL DIECINUEVE							

### Anexo 3. Cálculo de carga térmica

**Tabla N° 29.** Condiciones del diseño. Tienda ASECUBO, nivel 1.

<b>Condiciones del diseño Tienda ASECUBO, nivel 1.</b>		
6 personas		
1 puertas		
Altura 2,89 metros		
27 lámparas led tipo reflector (8,3 w por lampara)	224,1	W
Sin ventanas		
Ubicación: nivel 1, entrada principal.		
Paredes en block con repello.		
Cielorraso en total del área		
Sistemas eléctricos: una computadora.		
Altitud de la zona = 1172 msnm		
Horario de uso del aposento. 07:45 h hasta las 16:30 h		

- **Paso #1 Condiciones de diseño a lo externo y a lo interior.**

Se emplean las mismas condiciones para todos los aposentos, excepto para el cuarto de T.I.

**Tabla N° 30.** Condiciones de diseño a lo externo y a lo interior.

	<b>EXT</b>	<b>INT</b>	$\Delta$	Los datos de temperatura se toman de la publicación en la página del instituto Meteorológico nacional (imn.ac.cr). <a href="https://es.weatherspark.com/y/15463/Clima-promedio-en-San-Jos%C3%A9-Costa-Rica-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-Humidity">https://es.weatherspark.com/y/15463/Clima-promedio-en-San-Jos%C3%A9-Costa-Rica-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-Humidity</a> Los datos psicrométricos se toman de: <a href="http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/CartaPsy.htm">http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/CartaPsy.htm</a>
<b>TBS (°F)</b>	80,6	75,2	5,4	
<b>TTBH (°F)</b>	68	68	0	
<b>HR%</b>	55	65		
<b>H (KJ/Kg)</b>	63,34	59,84	3,5	

				Las conversiones de unidades de energía se realizan en: <a href="http://www.endmemo.com/sconvert/kj_kgbtu_lb.php">http://www.endmemo.com/sconvert/kj_kgbtu_lb.php</a>
<b>H (BTU/lb)</b>	27,2 3	25,7 3	1,50	1 KJ/kg = 0,429923BTU/lb

Psicrometría			
<b>Datos</b>			
Unidades:	<input checked="" type="radio"/> SI	<input type="radio"/> Ing.	
Parámetros	Valor	Unidad	
Temperatura:	27	C	
Temp. b. húmedo:	<input type="radio"/> 20.02886937	C	
Humedad relativa:	<input checked="" type="radio"/> 55	%	
Punto de rocío:	<input type="radio"/> 17.22084717	C	
Altitud SNM	1172	m	
<input type="button" value="Calcular"/>			
<b>Resultados</b>			
Presión Atmosférica	0.879187796	bar	
Pv sat	35.67302755	mbar	
Pv	19.62016515	mbar	
Humedad absoluta	0.014197536	kg/kg	
Entalpia	63.34547132	kJ/kg	
Volumen específico	1.001163096	m3/kg	

Ilustración 34. Datos de psicometría.

Psicrometría			
<b>Datos</b>			
Unidades:	<input checked="" type="radio"/> SI	<input type="radio"/> Ing.	
Parámetros	Valor	Unidad	
Temperatura:	24	C	
Temp. b. húmedo:	<input type="radio"/> 19.085252426	C	
Humedad relativa:	<input checked="" type="radio"/> 65	%	
Punto de rocío:	<input type="radio"/> 17.045828226	C	
Altitud SNM	1172	m	
<input type="button" value="Calcular"/>			
<b>Resultados</b>			
Presión Atmosférica	0.8791877964	bar	
Pv sat	29.851194674	mbar	
Pv	19.403276538	mbar	
Humedad absoluta	0.0140370496	kg/kg	
Entalpia	59.845680610	kJ/kg	
Volumen específico	0.9909564695	m3/kg	

Ilustración 35. Datos de psicometría.

- **Paso 2 Ganancia solar por irradiación.**

**Irradiación por ventanas.**

El aposento no posee ventanas.

- **Paso 3 Ganancia solar en techos.**

Para esta situación se considera un cielorraso de *gypsum* de 2". ROOF GROPU N° P.

*Tabla N° 31. Ganancia solar por techos.*

Tipo	Cantidad	Altura (Ft)	Ancho (Ft)	Factor solar	CLDT	BTU/h
P	1	25,28	14,88	0,24	24	2166,718464

- **Paso #4 Ganancia solar en paredes.**

*Tabla N° 32. Ganancia solar en paredes.*

Orientación	cantidad	altura (Ft)	ancho (Ft)	Factor Solar	Coefficiente Solar	BTU/h
Norte	1	2,87	21,53	0,73	13	586,3381866
Oeste	1	2,87	25,28	0,71	14	721,182784
Sur	1	2,87	14,88	0,71	24	727,703424
Este	1	2,87	25,28	0,71	37	1905,983072
NO						0
NE						0
SO						0
SE						0
Total (BTU/h)						3941,207467

- **Paso 5 Ganancia internas del local.**

### 5.1. Carga por ocupantes.

*Tabla N° 33. Carga por ocupantes.*

Cantidad de personas	6
Sensible	255
Latente	255
Total (BTU/h)	3060

### 5.2. Ganancia Internas del local - Carga por equipos eléctricos.

*Tabla N° 34. Ganancia Internas del local*

Cantidad de lámparas	27
Cantidad de tubos por lampara	0
Potencia de cada tubo	8,3
Total (W)	224,1
Constante	3,4
total (BTU/h)	906,94

*Tabla N° 35. Carga por equipos eléctricos.*

Cantidad de equipos de computo	1
Potencia x equipo	145
Total (W)	145

- **Paso 6 Ganancia internas que aporta el aire de renovación.**

*Tabla N° 36. Datos generales.*

Ft <sup>2</sup> local	34,95	Ft <sup>3</sup> local	100,31
Factor (CFM /área)	0,25	CFM	8,7375
Total, CFM	8,7375	Total, cambios por hora	5

*Tabla N° 37. Ganancia total.*

Cantidad de personas	6
Factor CFM /persona	15
Total, CFM	90

### 6.1. Ganancia internas que aporta el aire de renovación por infiltraciones.

*Tabla N° 38. Ranuras.*

Ranuras	
Celosías (m)	0
Puertas (m)	9,14
Total (m)	9,14

*Tabla N° 39. Ganancia internas que aporta el aire de renovación por infiltraciones.*

Longitud total de ranuras (ft)	30
CFM	0,22
Total (CFM)	6,6

### 6.2. Ganancia internas que aporta el aire total.

*Tabla N° 40. Ganancia internas que aporta el aire total.*

Total, CFM (punto 6)	8,7375
Total, CFM (punto 6.1)	6,6
Total (CFM)	15,3375 (Pies 3/min)

*Tabla N° 41. Conversión a BTU/h.*

1.0 (kg/m <sup>3</sup> ) =	0,062428 lb/pies <sup>3</sup>
0,062428 lb/pies <sup>3</sup> x 1,0981 (kg/m <sup>3</sup> ) =	0,068552187 lb/pies <sup>3</sup>
1 h =	60 min
15,3375 (Pies 3/min) x 0,068552187 Lb/pies <sup>3</sup> x 60 min =	63 lb/h
15,3375 (Pies 3/min) x 63 Lb/h =	95 BTU/h

- **Resultado**

**Carga total = 10 169.79 BTU/h**

Anexo 4. Tablas resumen de carga de térmica.

366 TRANE AIR CONDITIONING MANUAL

**TABLE 3-4**  
**Coefficients of Transmission (U) of Frame Walls**

These Coefficients are expressed in Btu per (hour) (square foot) (Fahrenheit degree difference in temperature between the air on the two sides), and are based on an outside wind velocity of 15 mph

Exterior <sup>1</sup>		Interior Finish		Type of Sheathing <sup>3</sup>						No.	
				None, Bldg. Paper	Gypsum Board ½"	Ply-wood ¾"	Wood ¾" & Bldg. Paper	Insulation Board Sheathing			
Material	R	Av. R	Material	Resistance I → R	U	U	U	U	U	U	
					A	B	C	D	E	F	
Wood Siding Drop-(1" x 8") Bevel (½" x 8") Wood Shingles 7½" Exposure Wood Panels (¾")	0.79 0.81 0.87 0.94	0.85 <sup>2</sup>	None	—	0.57	0.47	0.48	0.36	0.33	0.27	1
			Gypsum Bd. (¾")	0.32	0.33	0.29	0.30	0.25	0.23	0.20	2
			Gypsum Lath (¾") and ½" Plas. (Lt. Wt. Agg.)	0.64	0.30	0.27	0.27	0.23	0.22	0.20	3
			Gypsum Lath (¾") and ½" Plas. (Sand Agg.)	0.41	0.32	0.28	0.29	0.24	0.23	0.19	4
			Metal Lath and ¾" Plas. (Lt. Wt. Agg.)	0.47	0.31	0.28	0.28	0.24	0.22	0.19	5
			Metal Lath and ¾" Plas. (Sand Agg.)	0.13	0.35	0.31	0.31	0.26	0.24	0.21	6
			Insul. Bd. (½")	1.43	0.24	0.22	0.22	0.19	0.18	0.16	7
			Insul. Bd. Lath (½") and ½" Plas. (Sand Agg.)	1.52	0.24	0.22	0.22	0.19	0.18	0.16	8
			Plywood (¾")	0.31	0.33	0.29	0.30	0.25	0.23	0.20	9
			Wood Panels (¾")	0.94	0.27	0.25	0.25	0.22	0.20	0.18	10
			Wood Lath and ½" Plas. (Sand Agg.)	0.40	0.32	0.28	0.29	0.24	0.23	0.19	11
Face-Brick Veneer <sup>4</sup> Plywood (¾")	0.44 0.47	0.45 <sup>2</sup>	None	—	0.73	0.56	0.58	0.42	0.38	0.30	12
			Gypsum Bd. (¾")	0.32	0.37	0.33	0.33	0.27	0.25	0.21	13
			Gypsum Lath (¾") and ½" Plas. (Lt. Wt. Agg.)	0.64	0.33	0.30	0.30	0.25	0.24	0.20	14
			Gypsum Lath (¾") and ½" Plas. (Sand Agg.)	0.41	0.36	0.32	0.32	0.27	0.25	0.21	15
			Metal Lath and ¾" Plas. (Lt. Wt. Agg.)	0.47	0.35	0.31	0.32	0.26	0.25	0.21	16
			Metal Lath and ¾" Plas. (Sand Agg.)	0.13	0.40	0.35	0.36	0.29	0.27	0.22	17
			Insul. Bd. (½")	1.43	0.26	0.24	0.24	0.21	0.20	0.17	18
			Insul. Bd. Lath (½") and ½" Plas. (Sand Agg.)	1.52	0.26	0.23	0.24	0.21	0.19	0.17	19
			Plywood (¾")	0.31	0.38	0.33	0.33	0.27	0.26	0.21	20
			Wood Panels (¾")	0.94	0.30	0.27	0.28	0.23	0.22	0.19	21
			Wood Lath and ½" Plas. (Sand Agg.)	0.40	0.36	0.32	0.32	0.27	0.25	0.21	22
Wood Shingles Over Insul.: Backer Bd. (¾") Asphalt Insul. Siding	1.40 1.45	1.42 <sup>2</sup>	None	—	0.43	0.37	0.38	0.30	0.28	0.23	23
			Gypsum Bd. (¾")	0.32	0.28	0.25	0.25	0.22	0.20	0.18	24
			Gypsum Lath (¾") and ½" Plas. (Lt. Wt. Agg.)	0.64	0.25	0.23	0.23	0.20	0.19	0.17	25
			Gypsum Lath (¾") and ½" Plas. (Sand Agg.)	0.41	0.27	0.24	0.25	0.21	0.20	0.18	26
			Metal Lath and ¾" Plas. (Lt. Wt. Agg.)	0.47	0.27	0.24	0.24	0.21	0.20	0.17	27
			Metal Lath and ¾" Plas. (Sand Agg.)	0.13	0.29	0.26	0.27	0.23	0.21	0.18	28
			Insul. Bd. (½")	1.43	0.21	0.20	0.20	0.18	0.17	0.15	29
			Insul. Bd. Lath (½") and ½" Plas. (Sand Agg.)	1.52	0.21	0.19	0.19	0.17	0.16	0.15	30
			Plywood (¾")	0.31	0.28	0.25	0.25	0.22	0.20	0.18	31
			Wood Panels (¾")	0.94	0.24	0.22	0.22	0.19	0.18	0.16	32
			Wood Lath and ½" Plas. (Sand Agg.)	0.40	0.27	0.24	0.25	0.21	0.20	0.18	33
Asbestos-Cement Siding Stucco <sup>5</sup> 1 In Asphalt Roll Siding	0.21 0.20 0.15	0.19 <sup>2</sup>	None	—	0.91	0.67	0.70	0.48	0.42	0.32	34
			Gypsum Bd. (¾")	0.32	0.42	0.36	0.37	0.30	0.27	0.23	35
			Gypsum Lath (¾") and ½" Plas. (Lt. Wt. Agg.)	0.64	0.37	0.32	0.33	0.27	0.25	0.21	36
			Gypsum Lath (¾") and ½" Plas. (Sand Agg.)	0.41	0.40	0.35	0.36	0.29	0.27	0.22	37
			Metal Lath and ¾" Plas. (Lt. Wt. Agg.)	0.47	0.39	0.34	0.35	0.28	0.26	0.22	38
			Metal Lath and ¾" Plas. (Sand Agg.)	0.13	0.45	0.39	0.40	0.31	0.29	0.24	39
			Insul. Bd. (½")	1.43	0.29	0.26	0.26	0.22	0.21	0.18	40
			Insul. Bd. Lath (½") and ½" Plas. (Sand Agg.)	1.52	0.28	0.25	0.26	0.22	0.21	0.18	41
			Plywood (¾")	0.31	0.42	0.36	0.37	0.30	0.27	0.23	42
			Wood Panels (¾")	0.94	0.33	0.29	0.30	0.25	0.23	0.20	43
			Wood Lath and ½" Plas. (Sand Agg.)	0.40	0.40	0.35	0.36	0.29	0.27	0.22	44

<sup>1</sup> Note that although several types of exterior finish may be grouped because they have approximately the same thermal resistance value, it is not implied that all types may be suitable for application over all types of sheathing listed.  
<sup>2</sup> Average resistance of items listed. This average was used in computation of U values shown.  
<sup>3</sup> Building paper is not included except where noted.  
<sup>4</sup> Small air space between building paper and brick veneer neglected.  
<sup>5</sup> Where stucco is applied over insulating board or gypsum sheathing, building paper is generally required, but the change in U value is negligible.  
 ©1965 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Reprinted by permission from ASHRAE Guide and Data Book.

Ilustración 36. Extracto página 366. Air Conditioning Manual, The Trane Company.

REFERENCE TABLES

**TABLE 3-5**  
**Coefficients of Transmission (U) of Solid Masonry Walls**

Coefficients are expressed in Btu per (hour) (square foot) (Fahrenheit degree difference in temperature between the air on the two sides), and are based on an outside wind velocity of 15 mph

Exterior Construction <sup>3</sup>	Resistance I -	None	Interior Finish										No.
			Plas. ½ In. On Wall		Metal Lath and ¼ In. Plas. On Furring		Gypsum Lath (½ In.) and ½ In. Plas. On Furring		Insul. Bd. Lath (½ In.) and ½ In. Plas. On Furring		Wood Lath and ½ In. Plas.		
			(Sand Agg.)	(Lt. Wt. Agg.)	(Sand Agg.)	(Lt. Wt. Agg.)	No. Plas.	(Sand Agg.)	(Lt. Wt. Agg.)	No. Plas.	(Sand Agg.)	(Sand Agg.)	
U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U		
Material	R	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
<b>Brick (Face And Common) <sup>4</sup></b>													
(6 In.)	0.61	0.68	0.64	0.54	0.39	0.34	0.36	0.35	0.33	0.26	0.25	0.35	1
(8 In.)	1.24	0.48	0.45	0.41	0.31	0.28	0.30	0.29	0.27	0.22	0.22	0.29	2
(12 In.)	2.04	0.35	0.33	0.30	0.25	0.23	0.24	0.23	0.22	0.19	0.19	0.23	3
(16 In.)	2.84	0.27	0.26	0.25	0.21	0.19	0.20	0.20	0.19	0.16	0.16	0.20	4
<b>Brick (Common Only)</b>													
(8 In.)	1.60	0.41	0.39	0.35	0.28	0.26	0.27	0.26	0.25	0.21	0.20	0.26	5
(12 In.)	2.40	0.31	0.30	0.27	0.23	0.21	0.22	0.22	0.21	0.18	0.17	0.22	6
(16 In.)	3.20	0.25	0.24	0.23	0.19	0.18	0.19	0.18	0.18	0.16	0.15	0.18	7
<b>Stone (Lime And Sand)</b>													
(8 In.)	0.64	0.67	0.63	0.53	0.39	0.34	0.36	0.35	0.32	0.26	0.25	0.35	8
(12 In.)	0.96	0.55	0.52	0.45	0.34	0.31	0.32	0.31	0.29	0.24	0.23	0.31	9
(16 In.)	1.28	0.47	0.45	0.40	0.31	0.28	0.29	0.28	0.27	0.22	0.22	0.29	10
(24 In.)	1.92	0.36	0.35	0.32	0.26	0.24	0.25	0.24	0.23	0.19	0.19	0.24	11
<b>Hollow Clay Tile</b>													
(8 In.)	1.85	0.36	0.36	0.32	0.26	0.24	0.25	0.25	0.23	0.20	0.19	0.25	12
(12 In.)	2.22	0.33	0.31	0.29	0.24	0.22	0.23	0.22	0.21	0.18	0.18	0.23	13
(12 In.)	2.50	0.30	0.29	0.27	0.22	0.21	0.22	0.21	0.20	0.17	0.17	0.21	14
<b>Poured Concrete</b>													
<b>30 Lb. Per Cu Ft</b>													
(4 In.)	4.44	0.19	0.19	0.18	0.16	0.15	0.15	0.15	0.14	0.13	0.13	0.15	15
(6 In.)	6.66	0.13	0.13	0.13	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.11	16
(8 In.)	8.88	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.09	17
(10 In.)	11.10	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.08	18
<b>80 Lb. Per Cu Ft</b>													
(6 In.)	2.40	0.31	0.30	0.27	0.23	0.21	0.22	0.22	0.21	0.18	0.17	0.22	19
(8 In.)	3.20	0.25	0.24	0.23	0.19	0.18	0.19	0.18	0.18	0.16	0.15	0.18	20
(10 In.)	4.00	0.21	0.20	0.19	0.17	0.16	0.16	0.16	0.15	0.14	0.14	0.16	21
(12 In.)	4.80	0.18	0.17	0.17	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.12	0.12	0.14	22
<b>140 Lb. Per Cu Ft</b>													
(6 In.)	0.48	0.75	0.69	0.58	0.41	0.36	0.38	0.37	0.34	0.27	0.26	0.37	23
(8 In.)	0.64	0.67	0.63	0.53	0.39	0.34	0.36	0.35	0.32	0.26	0.25	0.35	24
(10 In.)	0.80	0.61	0.57	0.49	0.36	0.32	0.34	0.33	0.31	0.25	0.24	0.33	25
(12 In.)	0.96	0.55	0.52	0.45	0.34	0.31	0.32	0.31	0.29	0.24	0.23	0.31	26
<b>Concrete Block</b>													
(Gravel Agg.) (8 In.)	1.11	0.52	0.48	0.43	0.33	0.29	0.31	0.30	0.28	0.23	0.22	0.30	27
(12 In.)	1.28	0.47	0.45	0.40	0.31	0.28	0.29	0.28	0.27	0.22	0.22	0.29	28
(Cinder Agg.) (8 In.)	1.72	0.39	0.37	0.34	0.27	0.25	0.26	0.25	0.24	0.20	0.20	0.25	29
(12 In.)	1.89	0.36	0.35	0.32	0.26	0.24	0.25	0.24	0.23	0.19	0.19	0.24	30
(Lt. Wt. Agg.) (8 In.)	2.00	0.35	0.34	0.31	0.26	0.23	0.24	0.24	0.22	0.19	0.19	0.24	31
(12 In.)	2.27	0.32	0.31	0.28	0.24	0.22	0.23	0.22	0.21	0.18	0.18	0.22	32

<sup>3</sup> If stucco or structural glass is applied to the exterior, the additional resistance value of 0.10 would have a negligible effect on the U value.

<sup>4</sup> Brick, 6 in. (5½ in. actual) is assumed to have no backing. Walls 8, 12 and 16 in. have 4 in. of face brick and balance of common brick.

©1965 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Reprinted by permission from ASHRAE Guide and Data Book.

*Ilustración 37. Extracto página 367. Air Conditioning Manual, The Trane Company.*

**TABLE 3-6**

**Coefficients of Transmission (U) of Masonry Walls**

Coefficients are expressed in Btu per (hour) (square foot) (Fahrenheit degree difference in temperature between the air on the two sides), and are based on an outside wind velocity of 15 mph

Exterior Facing			Backing		Resistance I --	Interior Finish										No.													
						Plas. ½ In. On Wall		Metal Lath and ¼ In. Plas. On Furring		Gypsum Lath (¾ In.) and ½ In. Plas. On Furring		Insul. Bd. Lath (½ In.) & ½ In. Plas. On Furring		Wood Lath and ½ In. Plas.															
						(Sand Agg.)	(Lt. Wt. Agg.)	(Sand Agg.)	(Lt. Wt. Agg.)	No. Plas.	(Sand Agg.)	(Lt. Wt. Agg.)	No. Plas.	(Sand Agg.)	(Sand Agg.)														
					U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U													
Material	R	AV	Material	R	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	No.													
Face Brick 4 in. Stone 4 in. Precast Concrete (Sand Agg.) 4 in. 6 in.	0.44	.39	Concrete Block (Cinder Agg.)																										
			(4 in.)														1.11	0.41	0.39	0.35	0.28	0.26	0.27	0.26	0.25	0.21	0.20	0.26	1
			(8 in.)														1.72	0.33	0.32	0.29	0.24	0.22	0.23	0.23	0.21	0.18	0.18	0.23	2
	0.32			(12 in.)	1.89	0.31	0.30	0.28	0.23	0.21	0.22	0.22	0.21	0.18	0.17	0.22	3												
				(Lt. Wt. Agg.)																									
				(4 in.)															1.50	0.35	0.34	0.31	0.25	0.23	0.24	0.24	0.22	0.19	0.19
	(8 in.)	2.00	0.30	0.29															0.27	0.23	0.21	0.22	0.21	0.20	0.17	0.17	0.21	5	
	0.32			(12 in.)	2.27	0.28	0.27	0.25	0.21	0.20	0.20	0.20	0.19	0.17	0.16	0.20	6												
				(Sand Agg.)																									
				(4 in.)														0.71	0.49	0.46	0.41	0.32	0.29	0.30	0.29	0.27	0.22	0.22	0.29
	(8 in.)	1.11	0.41	0.39														0.35	0.28	0.26	0.27	0.26	0.25	0.21	0.20	0.26	8		
	0.48			(12 in.)	1.28	0.38	0.37	0.33	0.27	0.25	0.26	0.25	0.24	0.20	0.20	0.25	9												
				Hollow Clay Tile																									
				(4 in.)														1.11	0.41	0.39	0.35	0.28	0.26	0.27	0.26	0.25	0.21	0.20	0.26
	(8 in.)	1.85	0.31	0.30														0.28	0.23	0.22	0.22	0.22	0.21	0.18	0.18	0.22	11		
0.48			(12 in.)	2.50	0.26	0.25	0.24	0.20	0.19	0.19	0.19	0.18	0.16	0.16	0.19	12													
			Concrete (Sand Agg.)																										
			(4 in.)														0.32	0.60	0.56	0.49	0.36	0.32	0.34	0.33	0.31	0.25	0.24	0.33	13
(6 in.)	0.48	0.55	0.52														0.45	0.34	0.31	0.32	0.31	0.29	0.24	0.23	0.31	14			
0.48			(8 in.)	0.64	0.51	0.48	0.42	0.32	0.29	0.31	0.30	0.28	0.23	0.22	0.30	15													
			Common Brick 4 in. Precast Concrete (Sand Agg.) 8 in.	0.80	.72	Concrete Block (Cinder Agg.)																							
						(4 in.)													1.11	0.36	0.35	0.32	0.26	0.24	0.25	0.24	0.23	0.19	0.19
(8 in.)	1.72	0.29				0.29													0.26	0.22	0.21	0.21	0.21	0.20	0.17	0.17	0.21	17	
0.64				(12 in.)	1.89	0.28	0.27	0.25	0.21	0.20	0.21	0.20	0.19	0.17	0.17	0.20	18												
				(Lt. Wt. Agg.)																									
				(4 in.)													1.50	0.32	0.30	0.28	0.23	0.22	0.22	0.22	0.21	0.18	0.18	0.22	19
(8 in.)	2.00	0.27		0.26													0.25	0.21	0.20	0.20	0.20	0.19	0.16	0.16	0.20	20			
0.64				(12 in.)	2.27	0.25	0.25	0.23	0.20	0.19	0.19	0.19	0.18	0.16	0.16	0.19	21												
				(Sand Agg.)																									
				(4 in.)													0.71	0.42	0.40	0.36	0.29	0.26	0.27	0.27	0.25	0.21	0.21	0.27	22
(8 in.)	1.11	0.36		0.35													0.32	0.26	0.24	0.25	0.24	0.23	0.19	0.19	0.24	23			
0.64				(12 in.)	1.28	0.34	0.33	0.30	0.25	0.23	0.24	0.23	0.22	0.19	0.18	0.23	24												
				Hollow Clay Tile																									
				(4 in.)													1.11	0.36	0.35	0.32	0.26	0.24	0.25	0.24	0.23	0.19	0.19	0.24	25
(8 in.)	1.85	0.28		0.28													0.26	0.22	0.20	0.21	0.20	0.19	0.17	0.17	0.20	26			
0.64			(12 in.)	2.50	0.24	0.23	0.22	0.19	0.18	0.18	0.18	0.17	0.15	0.15	0.18	27													
			Concrete (Sand Agg.)																										
			(4 in.)													0.32	0.50	0.48	0.42	0.32	0.29	0.30	0.30	0.28	0.23	0.22	0.30	28	
(6 in.)	0.48	0.47	0.44													0.39	0.31	0.28	0.29	0.28	0.27	0.22	0.22	0.28	29				
0.64			(8 in.)	0.64	0.43	0.41	0.37	0.29	0.27	0.28	0.27	0.26	0.21	0.21	0.27	30													

©1965 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Reprinted by permission from ASHRAE Guide and Data Book.

*Ilustración 38. Extracto página 368. Air Conditioning Manual, The Trane Company.*

REFERENCE TABLES 369

**TABLE 3-7**  
**Coefficients of Transmission (U) of Masonry Cavity Walls**

Coefficients are expressed in Btu per (hour) (square foot) (Fahrenheit degree difference in temperature between the air on the two sides), and are based on an outside wind velocity of 15 mph

Exterior Construction		Inner Section		None	Interior Finish													No.
					Plas. ¼ In. On Wall			Metal Lath and ¼ In. Plas. On Furring		Gypsum Lath (¾ In.) and ½ In. Plas. On Furring			Insul. Bd. Lath (½ In.) & ½ In. Plas. On Furring		Wood Lath and ½ In. Plas.			
					(Sand Agg.)	(Lt. Wt. Agg.)	(Sand Agg.)	(Lt. Wt. Agg.)	No. Plas.	(Sand Agg.)	(Lt. Wt. Agg.)	No. Plas.	(Sand Agg.)	(Sand Agg.)	(Sand Agg.)			
Material	R	AV	Material	R	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U		
Face Brick (4 In.)		0.44	Concrete Block (4 In.)															
			(Gravel Agg.)	0.71	0.34	0.32	0.30	0.25	0.23	0.23	0.23	0.22	0.19	0.18	0.23	1		
			(Cinder Agg.)	1.11	0.30	0.29	0.27	0.22	0.21	0.21	0.21	0.20	0.17	0.17	0.21	2		
			(Lt. Wt. Agg.)	1.50	0.27	0.26	0.24	0.21	0.19	0.20	0.19	0.19	0.16	0.16	0.19	3		
			Common Brick (4 In.)	0.80	0.33	0.32	0.29	0.24	0.22	0.23	0.23	0.21	0.18	0.18	0.23	4		
Common Brick (4 In.)		0.80	Concrete Block (4 In.)															
			(Gravel Agg.)	0.71	0.30	0.29	0.27	0.23	0.21	0.22	0.21	0.20	0.18	0.17	0.21	6		
			(Cinder Agg.)	1.11	0.27	0.26	0.25	0.21	0.19	0.20	0.20	0.19	0.16	0.16	0.20	7		
			(Lt. Wt. Agg.)	1.50	0.25	0.24	0.22	0.19	0.18	0.19	0.18	0.18	0.1 S	0.15	0.18	8		
			Common Brick (4 In.)	0.80	0.30	0.29	0.27	0.22	0.21	0.21	0.21	0.20	0.17	0.17	0.21	9		
Concrete Block (Gravel Agg.)		0.71	Concrete Block (4 In.)															
			(Gravel Agg.)	0.71	0.30	0.29	0.27	0.23	0.21	0.22	0.21	0.20	0.18	0.17	0.21	6		
			(Cinder Agg.)	1.11	0.27	0.26	0.25	0.21	0.19	0.20	0.20	0.19	0.16	0.16	0.20	7		
			(Lt. Wt. Agg.)	1.50	0.25	0.24	0.22	0.19	0.18	0.19	0.18	0.18	0.1 S	0.15	0.18	8		
			Common Brick (4 In.)	0.80	0.30	0.29	0.27	0.22	0.21	0.21	0.21	0.20	0.17	0.17	0.21	9		
Concrete Block (Cinder Agg.) (4 In.)		1.11	Concrete Block (4 In.)															
			(Gravel Agg.)	0.71	0.27	0.27	0.25	0.21	0.20	0.20	0.20	0.19	0.17	0.16	0.20	11		
			(Cinder Agg.)	1.11	0.25	0.24	0.23	0.19	0.18	0.19	0.18	0.18	0.16	0.15	0.18	12		
			(Lt. Wt. Agg.)	1.50	0.23	0.22	0.21	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.15	0.14	0.17	13		
			Common Brick (4 In.)	0.80	0.27	0.26	0.24	0.21	0.19	0.20	0.20	0.19	0.16	0.16	0.20	14		
Concrete Block (Clay Tile (4 In.))			Common Brick (4 In.)															
			Clay Tile (4 In.)	1.11	0.25	0.24	0.23	0.19	0.18	0.19	0.18	0.18	0.16	0.15	0.18	15		

©1965 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Reprinted by permission from ASHRAE Guide and Data Book.

Ilustración 39. Extracto página 369. Air Conditioning Manual, The Trane Company.

370 TRANE AIR CONDITIONING MANUAL

**TABLE 3-8**  
**Coefficients of Transmission (U) of Frame Partitions or Interior Walls**

Coefficients are expressed in Btu per (hour) (square foot) (Fahrenheit degree difference in temperature between the air on the two sides), and are based on still air (no wind) conditions on both sides

Type of Interior Finish	R	Single Partition (Finish On Only One Side of Studs)	Double Partition (Finish On Both Sides of Studs)	No.
		U	U	
Material		A	B	
Gypsum Bd. (¾ In.)	0.32	0.60	0.34	1
Gypsum Lath (¾ In.) And ½ In. Plas. (Lt. Wt. Agg.)	0.64	0.50	0.28	2
Gypsum Lath (¾ In.) And ½ In. Plas. (Sand Agg.)	0.41	0.56	0.32	3
Metal Lath And ¼ In. Plas. (Lt. Wt. Agg.)	0.47	0.55	0.31	4
Metal Lath And ¼ In. Plas. (Sand Agg.)	0.13	0.67	0.39	5
Insul. Bd. (½ In.)	1.43	0.36	0.19	6
Insul. Bd. Lath (½ In.) And ½ Plas. (Sand Agg.)	1.52	0.35	0.19	7
Plywood: (¾ In.)	0.31	0.60	0.34	8
(¾ In.)	0.47	0.55	0.31	9
(½ In.)	0.63	0.50	0.28	10
Wood Panels (¾ In.)	0.94	0.43	0.24	11
Wood-Lath And ½ In. Plas. (Sand Agg.)	0.40	0.57	0.32	12
Sheet-Metal Panels Adhered To Wood (Framing)	0	0.74	0.43	13
Glass And Glass Blocks		See Table 3-2		

©1965 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Reprinted by permission from ASHRAE Guide and Data Book.

Ilustración 40. Extracto página 370. Air Conditioning Manual, The Trane Company.

372 TRANE AIR CONDITIONING MANUAL

**TABLE 3-10**  
**Coefficients of Transmission (U) of Frame Construction Ceilings and Floors**

Coefficients are expressed in Btu per (hour) (square foot) (Fahrenheit degree difference in temperature between the air on the two sides), and are based on still air (no wind) on both sides

Direction Of Heat		Heat Flow Upward (Winter Conditions)										Heat Flow Downward (Summer Conditions)					No.
		Types of Floor										Types of Floor					
		None		Wood Subfloor (¾")	Cement (1½") and Ceramic Tile (¾")	Hardwood Floor (¾")	Plywood (¾") and Floor Tile or Linoleum (¾")	Insul. Bd. (¾") and Hard Bd. (¾") and Floor Tile or Linoleum (¾")	None		Wood Subfloor (¾")	Cement (1½") and Ceramic Tile (¾")	Hardwood Floor (¾")	Plywood (¾") and Floor Tile or Linoleum (¾")	Insul. Bd. (¾") and Hard Bd. (¾") and Floor Tile or Linoleum (¾")		
Resistance i	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U		
Material	R	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	U			
None	—	0.45	0.38	0.34	0.32	0.29	—	0.35	0.31	0.28	0.26	0.24	0.24	1			
Gypsum Bd. (½ In.)	0.32	0.65	0.30	0.27	0.24	0.23	0.22	0.46	0.24	0.22	0.21	0.20	0.19	2			
Gypsum Lath (½ In.) and ½ In. Plas. (Lt. Wt. Agg.)	0.64	0.54	0.27	0.24	0.23	0.22	0.20	0.40	0.22	0.21	0.19	0.19	0.17	3			
Gypsum Lath (¾ In.) and ½ In. Plas. (Sand Agg.)	0.41	0.61	0.29	0.26	0.24	0.23	0.21	0.44	0.24	0.22	0.20	0.20	0.18	4			
Metal Lath and ½ In. Plas. (Lt. Wt. Agg.)	0.47	0.59	0.28	0.26	0.23	0.23	0.21	0.43	0.23	0.21	0.20	0.19	0.18	5			
Metal Lath and ¾ In. Plas. (Sand Agg.)	0.13	0.74	0.31	0.28	0.26	0.25	0.22	0.51	0.25	0.23	0.21	0.21	0.19	6			
Insul. Bd. (½ In.)	1.43	0.38	0.22	0.20	0.19	0.19	0.17	0.31	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	7			
Insul. Bd. Lath (½ In.) and ½ In. Plas. (Sand Agg.)	1.52	0.36	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17	0.30	0.19	0.17	0.17	0.16	0.15	8			
Acoustical Tile																	
½ In. On Gypsum Bd. (½ In.)	1.51 <sup>2</sup>	0.37	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17	0.30	0.19	0.17	0.17	0.16	0.15	9			
½ In. On Furring	1.19	0.41	0.24	0.22	0.20	0.19	0.18	0.33	0.20	0.19	0.17	0.17	0.18	10			
¾ In. On Gypsum Bd. (½ In.)	2.10 <sup>2</sup>	0.30	0.19	0.18	0.17	0.17	0.15	0.25	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14	11			
¾ In. On Furring	1.78	0.33	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16	0.28	0.18	0.17	0.16	0.15	0.15	12			
Wood Lath and ½ In. Plas. (Sand Agg.)	0.40	0.62	0.29	0.26	0.24	0.23	0.21	0.45	0.24	0.22	0.20	0.20	0.18	13			

<sup>1</sup> Includes asphalt, rubber, and plastic tile (½ in.), ceramic tile, or terrazzo (1 in.).  
<sup>2</sup> Includes thermal resistance of ¾ in. gypsum wall board.  
 ©1965 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Reprinted by permission from ASHRAE Guide and Data Book.

Ilustración 41. Extracto página 372. Air Conditioning Manual, The Trane Company.

REFERENCE TABLES 373

**TABLE 3-11**  
**Coefficients of Transmission (U) of Concrete Floor-Ceiling Constructions**  
**(Summer Conditions, Downward Flow)**

Coefficients are expressed in Btu per (hour) (square foot) (Fahrenheit degree difference in temperature between the air on the two sides), and are based on still air (no wind) conditions on both sides

Type of Deck		Type Of Finish Floor		Type of Ceiling																No.
				Suspended Ceiling																
				Ceiling Applied Directly To Slab				Gypsum Bd. (¾") and Plas.				Metal Lath and Plas.				Acoustical Tile				
Material	R	AV. R	Material	AV. R	Plas.		Acoustical Tile-Glued		Lt. Wt. Sand Agg.		Lt. Wt. Sand Agg.		Lt. Wt. Sand Agg.		On Furring or Channels		On Gypsum Bd. (¾")			
					None	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U
Resistance i	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U		
Concrete <sup>4</sup> (Sand Agg.) (4 In.) (6 In.)	0.32	0.40	0.48	—	0.45	0.43	0.44	0.29	0.25	0.28	0.26	0.27	0.27	0.30	0.23	0.20	0.21	0.19	1	
				0.05	0.44	0.42	0.43	0.29	0.25	0.28	0.26	0.27	0.27	0.29	0.22	0.20	0.21	0.19	2	
				0.74	0.34	0.33	0.33	0.24	0.21	0.23	0.22	0.23	0.23	0.24	0.19	0.17	0.18	0.17	3	
				0.89	0.23	0.23	0.23	0.18	0.17	0.19	0.18	0.19	0.18	0.20	0.16	0.15	0.15	0.14	4	
				1.72	0.20	0.19	0.20	0.16	0.15	0.16	0.15	0.16	0.16	0.17	0.14	0.13	0.14	0.13	5	
Concrete <sup>4</sup> (Sand Agg.) (8 In.) (10 In.)	0.64	0.72	0.80	—	0.39	0.38	0.39	0.27	0.23	0.26	0.24	0.25	0.25	0.27	0.21	0.19	0.20	0.18	6	
				0.05	0.38	0.37	0.38	0.26	0.23	0.26	0.24	0.25	0.25	0.27	0.21	0.19	0.20	0.18	7	
				0.74	0.30	0.30	0.30	0.22	0.20	0.22	0.20	0.21	0.21	0.23	0.18	0.16	0.17	0.16	8	
				0.89	0.22	0.21	0.22	0.17	0.16	0.18	0.17	0.18	0.17	0.18	0.15	0.14	0.15	0.14	9	
				1.72	0.19	0.18	0.18	0.15	0.14	0.16	0.15	0.15	0.15	0.16	0.14	0.13	0.13	0.12	10	

<sup>4</sup> Concrete is assumed to have a thermal conductivity k of 12.0.  
<sup>5</sup> Includes asphalt, rubber, and plastic tile (½ in.), ceramic tile on terrazzo (1 in.).  
 ©1965 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Reprinted by permission from ASHRAE Guide and Data Book.

Ilustración 42. Extracto página 373. Air Conditioning Manual, The Trane Company.

376 TRANE AIR CONDITIONING MANUAL

**TABLE 3-14**  
**Heat Gain from Occupants of Conditioned Spaces<sup>1</sup>**

Degree of Activity	Typical Application	Total Heat Adults, Male BTU/HR	Total Heat Adjusted <sup>2</sup> BTU/HR	Sensible Heat BTU/HR	Latent Heat BTU/HR
Seated At Rest	Theater-Matinee	390	330	200	130
	Theater-Evening	390	350	215	135
Seated, Very Light Work	Offices, Hotels, Apartments	450	400	215	185
	Offices, Hotels, Apartments	475	450	220	230
Moderately Active Office Work	Retail And Department Stores	550	450	220	230
	Drug Store	550	500	220	280
Standing, Light Work; Or Walking Slowly	Bank				
	Restaurant <sup>3</sup>	490	550	240	310
Sedentary Work	Factory	800	750	240	510
	Dance Hall	900	850	270	580
Light Bench Work	Factory	1000	1000	330	670
	Bowling Alley	1500	1450	510	940
Moderate Dancing	Factory	1000	1000	330	670
	Bowling Alley	1500	1450	510	940
Walking 3 Mph; Moderately Heavy Work	Factory	1500	1450	510	940
	Factory	1500	1450	510	940

Reprinted by permission from 1965 ASHRAE Guide and Data Book.

Notes:  
<sup>1</sup> Tabulated values are based on 78 F for dry-bulb temperature.  
<sup>2</sup> Adjusted total heat gain is based on normal percentage of men, women, and children for the application listed, with the postulate that the gain from an adult female is 85 per cent of that for an adult male, and that the gain from a child is 75 per cent of that for an adult male.  
<sup>3</sup> Adjusted total heat value for sedentary work, restaurant, includes 60 Btu/h for food per individual (30 Btu sensible and 30 Btu latent).  
<sup>4</sup> For bowling figure one person per alley actually bowling, and all others as sitting (400 Btu/h) or standing (550 Btu/h).

*Ilustración 43. Extracto página 376. Air Conditioning Manual, The Trane Company.*

REFERENCE TABLES 377

**TABLE 3-17**  
**Heat Gain From Electric Appliances**

Appliance	Capacity	Mfg's Input Rating		Probable Max. Hourly Input Btuh	Recommended Rate of Heat Gain Btuh			
		Watts	Btuh		Without Hood		With Hood All Sensible	
					Sensible	Latent		Total
Coffee Brewer	1 Burner	625	2130	1000	770	230	1000	340
Coffee Urn	3 Gal	2000	6800	3400	2550	850	3400	1000
Coffee Urn	5 Gal	3000	10200	5100	3850	1250	5100	1600
Food Warmer, Per Sq. Ft. of Top Surface		240	820	400	320	80	400	130
Fry Kettle	14 Lb.	5500	18750	9400	2800	6600	9400	3000
Fry Kettle	21 Lb.	8000	27300	13700	4100	9600	13700	4300
Griddle Frying Per Sq. Ft. of Top		2700	9200	4600	3000	1600	4600	1500
Toaster 360 Slices Per Hour	2 Slices Wide	2200	7500	3700	1960	1740	3700	1200
Toaster, Pop-Up	4 Slice	2540	8350	4200	2230	1970	4200	1300
Waffle Iron	2 Grids	1650	5620	2800	1680	1120	2800	900

©1965 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Reprinted by permission from ASHRAE Guide and Data Book.

*Ilustración 44. Extracto página 377. Air Conditioning Manual, The Trane Company.*

378 TRANE AIR CONDITIONING MANUAL

**TABLE 3-21**  
**Infiltration Through Windows**  
(cfh per ft)<sup>\*</sup>

Type of Window	Description of Window	Wind Velocity, MPH	
		7½	15
Double Hung Wood Sash (Unlocked)	Total For Average Window, Nonweatherstripped, ¼ in. Crack and ¾ in. Clearance	14	39
	Ditto, Weatherstripped	8	24
	Total For Poorly Fitted Window, Nonweather Stripped, ½ in. Crack and ¾ in. Clearance	48	111
	Ditto, Weatherstripped	13	34
Double-Hung Metal Sash	Nonweatherstripped, Double-Hung Locked	33	70
	Nonweatherstripped, Unlocked	34	74
	Weatherstripped, Unlocked	13	32
Rolled Section Steel Sash	Industrial Pivoted, ¼ in. Crack	80	176
	Architectural Projected, ¼ in. Crack	36	88
	Residential Casement, ½ in. Crack	23	52
	Heavy Casement Section, Projected ½ in. Crack	16	38

<sup>\*</sup> Cubic feet of air per hour per lineal foot of crack.  
 ©1965 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Reprinted by permission from ASHRAE Guide and Data Book.

*Ilustración 45. Extracto página 378. Air Conditioning Manual, The Trane Company.*

## REFERENCE TABLES

379

**TABLE 3-22A**  
**Outdoor Air Requirements For Ventilation\***  
**Commercial Facilities (offices, stores, shops, hotels, sports facilities)**

Application	Estimated Maximum** Occupancy P/1000 ft <sup>2</sup> or 100 m <sup>2</sup>	Outdoor Air Requirements				Comments
		cfm/person	L/s person	cfm/ft <sup>2</sup>	L/s/m <sup>2</sup>	
<b>Dry Cleaners, Laundries</b>						
Commercial laundry	10	25	13			Dry-cleaning processes may require more air.
Commercial dry cleaner	30	30	15			
Storage, pick up	30	35	18			
Coin-operated laundries	20	15	8			
Coin-operated dry cleaner	20	15	8			
<b>Food and Beverage Service</b>						
Dining rooms	70	20	10			Supplementary smoke-removal equipment may be required. Makeup air for hood exhaust may require more ventilating air. The sum of the outdoor air and transfer air of acceptable quality from adjacent spaces shall be sufficient to provide an exhaust rate of not less than 1.5 cfm/ft <sup>2</sup> (7.5 L/s-m <sup>2</sup> ).
Cafeteria, fast food	100	20	10			
Bars, cocktail lounges	100	30	15			
Kitchens (cooking)	20	15	8			
<b>Garages, Repair, Service Stations</b>						
Enclosed parking garage				1.50	7.5	Distribution among people must consider worker location and concentration of running engines; stands where engines are run must incorporate systems for positive engine exhaust withdrawal. Contaminant sensors may be used to control ventilation.
Auto repair rooms				1.50	7.50	
<b>Hotels, Motels, Resorts, Dormitories</b>						
Bedrooms				cfm/room	L/s-room	Independent of room size.
Living rooms				30	15	
Baths				30	15	Installed capacity for intermittent use.
Lobbies	30	15	8	35	18	
Conference rooms	50	20	10			
Assembly rooms	120	15	8			See also food and beverage services, merchandising, barber and beauty shops, garages. Supplementary smoke-removal equipment may be required.
Dormitory sleeping areas	20	15	8			
Gambling casinos	120	30	15			
<b>Offices</b>						
Office space	7	20	10			Some office equipment may require local exhaust.
Reception areas	60	15	8			
Telecommunication centers and data entry areas	60	20	10			
Conference rooms	50	20	10			Supplementary smoke-removal equipment may be required.
<b>Public Spaces</b>						
Corridors and utilities				0.05	0.25	Mechanical exhaust with no recirculation is recommended.
Public restrooms, cfm/wc or urinal		50	25			
Locker and dressing rooms				0.5	2.5	Normally supplied by transfer air, local mechanical exhaust; with no recirculation is recommended.
Smoking lounge	70	60	30			
Elevators				1.00	5.00	Normally supplied by transfer air.
<b>Retail Stores, Sales Floors, and Show Room Floors</b>						
Basement and street	30			0.30	1.50	Normally supplied by transfer air, local mechanical exhaust; exhaust with no recirculation recommended.
Upper floors	20			0.20	1.00	
Storage rooms	15			0.15	0.75	
Dressing rooms				0.20	1.00	
Malls and arcades	20			0.20	1.00	
Shipping and receiving	10			0.15	0.75	
Warehouses	5			0.05	0.25	
Smoking lounge	70	60	30			

\*Table 3-22A prescribes supply rates of acceptable outdoor air required for acceptable indoor air quality. These values have been chosen to control CO<sub>2</sub> and other contaminants with an adequate margin of safety and to account for health variations among people, varied activity levels, and a moderate amount of smoking. Rationale of CO<sub>2</sub> control is presented in Appendix D of ASHRAE Standard 62-1989.

\*\*Net occupiable space.

*Ilustración 46. Extracto página 379. Air Conditioning Manual, The Trane Company.*

REFERENCE TABLES

385

**TABLE 3-31**  
**Shading Coefficients-Single Glass and Insulating Glass<sup>1</sup>-No Shading**

Single Glass					Insulating Glass <sup>1</sup>					
Type of Glass	Nominal Thickness <sup>2</sup>	Solar Trans. <sup>2</sup>	Glass In Sun	Glass In Shade	Type of Glass	Nominal Thickness <sup>2,3</sup>	Solar Trans. <sup>2</sup>		Glass In Sun	Glass In Shade
							Outer Pane	Inner Pane		
Regular Sheet	3/32, 1/8	0.86	1.00	1.00	Regular Sheet Out,	3/32, 1/8	0.86	0.86	0.90	0.84
Regular Plate	1/4	0.80	0.95	0.95	Regular Sheet In					
	3/8	0.75	0.91	0.91						
	1/2	0.71	0.88	0.88	Regular Plate Out,	1/4	0.80	0.80	0.83	0.77
Heat-Abs <sup>4</sup> Sheet	3/32	0.51	0.71	0.78	Regular Plate In					
Heat-Abs <sup>4</sup> Plate	1/4	0.46	0.67	0.74						
	3/8	0.34	0.57	0.64	Heat-Abs <sup>4</sup> Plate Out,	1/4	0.46	0.80	0.56	0.53
Grey <sup>5</sup> Sheet	1/8	0.59	0.78	0.78	Regular Plate In					
	3/16	0.74	0.90	0.90						
	3/32	0.45	0.66	0.66	Grey <sup>5</sup> Plate Out,	1/4	0.46	0.80	0.56	0.53
	3/32	0.71	0.88	0.88	Regular Plate In					
Grey <sup>5</sup> Plate	13/64	0.52	0.72	0.72						
	1/4	0.47	0.70	0.70	Grey Plate <sup>5</sup> With	1/4	0.23	0.80	0.42	0.44
	3/8	0.33	0.56	0.56	Sun Control Film					
	1/2	0.24	0.50	0.50	Out, Regular Plate In					

<sup>1</sup>Refers to factory-fabricated units with 3/16, 1/4, or 1/2 in. air space or to prime windows plus storm windows.

<sup>2</sup>Refer to manufacturer's literature for values.

<sup>3</sup>Thickness of each pane of glass, not thickness of assembled unit.

<sup>4</sup>Heat absorbing sheet does not meet radiant transmittance requirements of Federal Specification DD-G-451a. Heat absorbing plate meets these requirements.

<sup>5</sup>Glare-reducing glasses other than grey in color will have approximately equal shading coefficients for equal solar transmittances. Consult manufacturer's data for specific product values.

Note: For awnings or overhanging canopies which completely shade the glass area use a shade factor of 0.20 for all types of glass. Reprinted with permission from 1965 ASHRAE Guide and Data Book.

**TABLE 3-31A**  
**Shading Coefficients-Single Glass with Indoor Shading (Also see Table 3-31 B)**

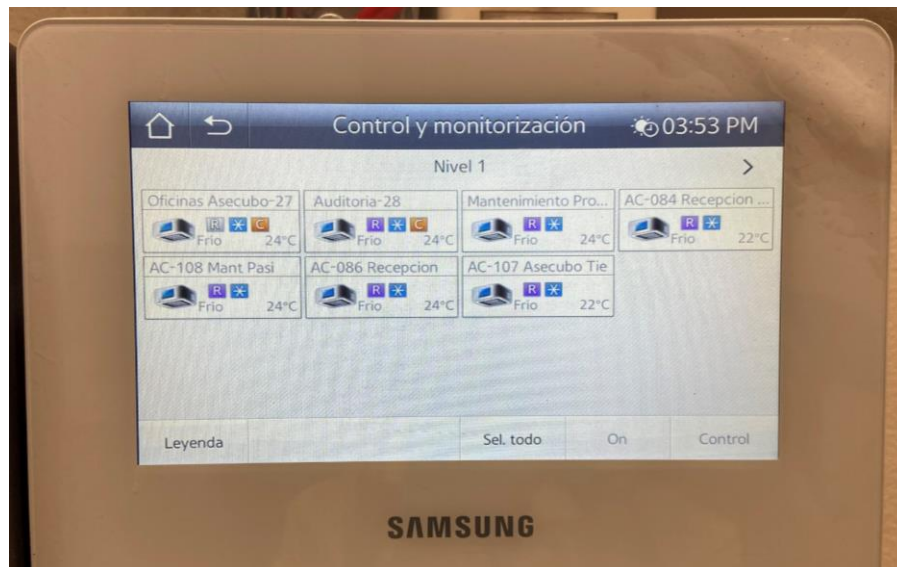
Type of Glass	Nominal Thickness <sup>1</sup>	Solar Trans. <sup>1</sup>	Type of Shading							
			Venetian Blinds				Roller Shade, Opaque			
			Medium		Light		Dark		White	
			Glass In Sun	Glass In Shade	Glass In Sun	Glass In Shade	Glass In Sun	Glass In Shade	Glass In Sun	Glass In Shade
Regular Sheet	3/32 To 1/4	0.87-0.80								
Regular Plate	1/4 To 1/2	0.80-0.71								
Regular Pattern	1/4 To 3/32	0.87-0.79	0.64	0.66	0.55	0.60	0.59	0.61	0.25	0.22
Heat-Absorbing Pattern	1/4	—								
Grey Sheet	3/16, 3/32	0.74, 0.71								
Heat-Absorbing Sheet	3/32	0.51								
Heat-Absorbing Plate	1/4	0.46								
Heat-Absorbing Pattern	3/16, 1/4	—	0.57	0.58	0.53	0.52	0.45	0.42	0.30	0.30
Grey Sheet	1/8, 3/32	0.59, 0.45								
Grey Plate	13/64, 1/4	0.52, 0.45								
Heat-Absorbing Sheet, Plate Or Pattern	—	0.44-0.30								
Heat-Absorbing Plate	3/8	0.34	0.54	0.53	0.52	0.52	0.40	0.36	0.28	0.26
Grey Plate	3/8	0.33								
Heat-Absorbing Sheet, Plate Or Pattern	—	0.29-0.15	0.51	0.51	0.50	0.50	0.36	0.32	0.28	0.25
Grey Plate	1/2	0.24								

<sup>1</sup> Refer to manufacturer's literature for values.

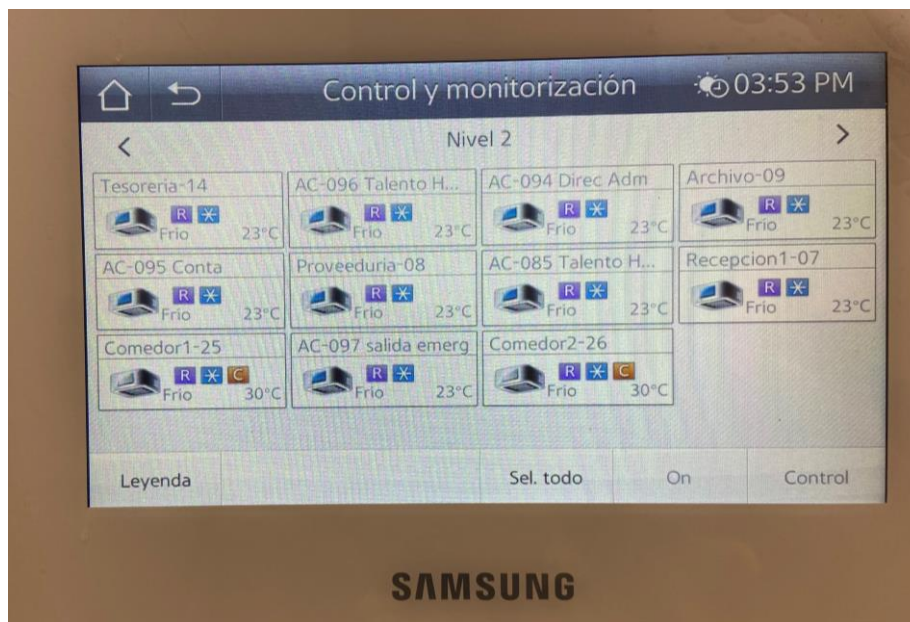
©1965 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Reprinted by permission from ASHRAE Guide and Data Book.

*Ilustración 47. Extracto página 385. Air Conditioning Manual, The Trane Company.*

## Anexo 5. Temperaturas de los distintos aposentos del edificio.



*Fotografía N° 1. Nivel 1.*



*Fotografía N° 2. Nivel 2.*



*Fotografía N° 3. Nivel 3.*