

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS
AMÉRICAS**

VICERRECTORÍA ACADÉMICA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**“DISEÑO DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN EFICIENTE
PARA CINCO PISOS EN EL EDIFICIO ACADÉMICO DE
UNA UNIVERSIDAD PRIVADA CON DIVERSAS ÁREAS”**

**MODALIDAD DE TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE BACHILLERATO EN INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA**

AUTOR: NATHANAEL CASTELLÓN ARGUEDAS

TUTOR: ING. CARLOS CALDERÓN BORGE

SEDE ARANJUEZ

DICIEMBRE, 2021

CONTENIDO

Dedicatoria.....	18
Agradecimientos.....	19
Resumen Ejecutivo.....	20
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	21
Problema.....	22
Objetivos.....	23
Objetivo general.....	23
Objetivos específicos.....	23
Justificación.....	24
Limitaciones.....	25
Proyecciones.....	26
Antecedentes.....	27
1) “Diseño de aire acondicionado para la biblioteca de la Universidad Fidélitas.”	27
2) “Modelo de Gestión Energética para los Sistemas de Aires Acondicionado del Campus Tecnológico Central Cartago del Instituto Tecnológico de Costa Rica.”	27
3) “Diseño del Sistema de Climatización del Centro de Investigación en Ciencias del Movimiento Humano (CIMOHU) de la Escuela de Educación Física y del Deporte de la Universidad de Costa Rica.”	28
4) “Estrategias de climatización pasiva aplicadas al Hospital Dr. Max Terán Valls, ubicado en Quepos de Aguirre en la zona de vida bosque húmedo.”	29
5) “Cálculo de carga térmica para el suministro de aire acondicionado del laboratorio clínico y planes de mantenimiento preventivo para equipo de aire acondicionado clínico, Hospital Dr. Maximiliano Peralta Jiménez.”	29
6) “Propuesta de diseño para climatización de Planta 2 de la empresa Florida Retail.”	30
7) “Climatización hotel 4 estrellas (Madrid).”	30
8) “Diseño de un sistema de aire acondicionado de bajo costo de operación para las oficinas administrativas del cuarto piso del edificio de ingeniería USAT – Chiclayo.”	32
9) “Repercusión arquitectónica del volumen de las instalaciones en los edificios de oficinas: análisis de las instalaciones de aire acondicionado.”	33
10) “Sistemas de acondicionamiento de aire en arquitectura.”	34
11) “Dimensionamiento de túnel de aire acondicionado.”	35
12) “Diseño y construcción de un acondicionador de aire ecológico.”	35
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	37

Reseña histórica.....	37
Definiciones y conceptos importantes.....	39
Acondicionamiento del aire:.....	40
Calor:.....	40
Humedad:.....	40
Cadena de frío:	40
Entalpía:	40
Entropía.	40
Calor latente:	40
Calor sensible:	41
Conductividad térmica:	41
Humedad relativa:.....	41
Presión absoluta:	41
Presión manométrica:	41
Temperatura:.....	41
Punto de rocío:.....	41
El ruido:	41
Filtración del aire:.....	42
Esterilización:	42
Refrigeración:.....	42
Tonelada de refrigeración:	42
Componentes básicos del sistema de refrigeración	42
Evaporador:.....	42
Condensador:.....	43
Dispositivo de expansión:.....	43
Compresor:	44
Refrigerantes:	45
Sistema de filtración de aire:.....	45
Ventilador o turbina:	48
Tuberías:	48
Filtro deshidratador:.....	48
Presostatos:	48

Sistemas de control y monitoreo:	48
Gases refrigerantes:	50
Clasificación de los refrigerantes:	52
Normas, leyes y protocolos	53
Protocolo de Kyoto:	53
Protocolo de Montreal:	54
Acuerdo de París:	57
Norma ISO 7730:2005	62
ECA-MC-MA-P08	62
Norma INTE 28-01-13:2014	63
Directriz N° 17 – MINAET	64
Ley N°7223	66
Ley N°8219	67
Ley N°9405	69
Leyes importantes	71
Ley de los gases ideales:	71
Leyes de la termodinámica:	72
Carta psicométrica:	79
Confort térmico:	80
Voto Medio Estimado (PMV, predicted mean vote)	80
Porcentaje Estimado De Insatisfechos (PPD, predicted percentage dissatisfied)	83
Cargas térmicas:	85
Transferencia de calor:	86
Factor U y Factor R	87
Cálculo de cargas de enfriamiento	88
Cargas de enfriamiento:	88
Efecto de almacenamiento de calor:	90
Ganancias de calor en recintos	92
Conducción de calor a través de la estructura exterior.	92
Conducción de calor a través del vidrio.	94
Conducción de calor a través de la pared interior.	95
Radiación a través del vidrio	95

Ganancia por alumbrado.....	96
Ganancia por personas	97
Ganancias de calor por equipo.....	97
Transferencia de calor a los alrededores.....	98
Carga de enfriamiento o refrigeración.....	99
Infiltraciones.....	99
Ganancia de calor en ductos.....	101
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	102
Enfoque de la investigación.	102
Enfoque cualitativo.	102
Enfoque cuantitativo.....	103
Enfoque mixto.....	103
Alcance de la investigación.....	103
Investigación descriptiva.	104
Investigación correlacional.....	104
Investigación explicativa.....	104
Investigación exploratoria.....	104
Método de la investigación.	104
Diseño experimental.....	104
Diseño no experimental.....	105
Fuentes de información.....	105
Muestra probabilística	106
Muestra no probabilística.....	106
Variables o Unidades de Análisis.....	107
Instrumento.	109
Procedimiento de recolección de datos.....	109
Etapa I. Planteamiento del problema	109
Etapa II. Investigación.....	110
Etapa III. Desarrollo.....	110
Etapa IV. Conclusión	110
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	112
Alcance.....	112

Propósito.	113
Parámetros generales de diseño.	113
Condiciones ambientales externas.	113
Parámetros geográficos.	114
Parámetros para el cálculo de las cargas térmicas.	114
Equipos y herramientas utilizados.	115
Cálculo de cargas térmicas por recinto.	115
Parámetros geográficos (IMN).	115
Parámetros de diseño.	116
Datos de conducción.	116
Factor de corrección.	119
Datos por transmisión.	120
Sumatoria de datos por conducción y transmisión.	125
Presentación del cálculo en todos los recintos.	126
Área administrativa (Recepción):	126
Direcciones de carrera:	126
Área de pagos (Cajas):	127
Área de gerencia (Piso 1):	127
Área de Postgrados (Piso 2):	127
Aulas y Laboratorios sector norte (Piso 2):	128
Aulas sector sur (Piso 3):	128
Aulas sector norte (Piso 3):	128
Aulas sector sur (Piso 4):	129
Aulas sector norte (Piso 4):	129
Aulas sector sur (Piso 5):	130
Aulas sector norte (Piso 5):	130
Laboratorio de radio y televisión (Piso 5):	131
Cálculo de cargas térmicas totales	131
Carga total del edificio:	131
Carga total del piso 1:	132
Carga total del piso 2:	132
Carga total del piso 3:	132

Carga total del piso 4:	132
Carga total del piso 5:	133
Selección de unidades evaporadoras	133
Selección de unidades condensadoras	137
Propuesta planos mecánicos.....	138
Análisis financiero.....	143
Carga eléctrica en KW de los equipos:.....	143
Diferencial del flujo de gastos	151
Diferencial de tarifas y consumos anuales	155
Cálculo del VAN y el TIR.....	156
Rutinas de mantenimiento.....	157
Rutinas de mantenimiento preventivo.....	158
Rutinas de mantenimiento predictivo.....	158
Chequeo con software	159
Descripción del equipamiento mínimo requerido	159
Requisitos de instalación de los equipos de climatización	159
Conclusiones.	170
Recomendaciones.	171
CAPÍTULO VI: PROPUESTA	173
Instalación de unidades de aire acondicionado con tecnología VRV	173
Unidades condensadoras:	174
Unidades evaporadoras:	176
REFERENCIAS	181
APÉNDICES	183
Apéndice A. Eficiencia de Filtración y valor del MERV.	183
Apéndice B. Velocidad del aire a través del filtro, ASHRAE 52.2.2017, página 38.	183
Apéndice C. Tabla representativa del color de los cilindros de refrigerante.....	184
Apéndice D. Tabla psicométrica. ASHRAE, 2010. Página 2-10.....	185
Apéndice E. Escala de sensación térmica, UNE ISO 7730:2006, página 9.....	185
Apéndice F. Voto medio estimado (PMV), UNE ISO 7730:2006, página 9.....	186
Apéndice G. (PPD), UNE ISO 7730:2006, página 11.	186
Apéndice H. Normativas, protocolos y leyes.....	187

Apéndice I. Tarifas eléctricas, Compañía Nacional de Fuerza y Luz.....	187
Apéndice J. Ley de los gases ideales, Termodinámica JM Martín, 2006, página 23.....	188
Apéndice K. Leyes de la termodinámica, John R. Howell y Richard O. Buckius.....	188
Apéndice L. Tablas para cálculo de cargas térmicas, Trane Company.....	189
Apéndice M. Capítulo 6. Acondicionamiento de Aire, Principios y Sistemas. Pita.....	202
Apéndice N. Hoja de Cálculo de Cargas Térmicas (Pita).....	203
Apéndice O. Cálculo de diámetro de tuberías de refrigeración.....	204

Tablas

Tabla 1. Eficiencia de Filtración según su valor de MERV (ASHRAE, Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size, 2017).	46
Tabla 2. Norma de colores de los refrigerantes. (AHRI, 2016).	51
Tabla 3. Clasificación de los refrigerantes. (ASHRAE, Handbook of Heating, Ventilation and Air Conditioning for Design and Implementation, 2010).	53
Tabla 4. Niveles Mínimos - REE. (ICE, 2017).	64
Tabla 5. Escala de sensación térmica de siete niveles. (UNE, 2021).	81
Tabla 6. Distribución de los votos de sensación térmica para diferentes valores del voto medio. (UNE, 2021).	84
Tabla 7. Descripción de variables o unidades de análisis. (Elaboración propia, 2021).	108
Tabla 8. Descripción de los instrumentos utilizados. (Elaboración propia, 2021).....	109
Tabla 9. Cálculos térmicos unidades del área de recepción. Elaboración Propia.	126
Tabla 10. Cálculos térmicos unidades del área de directores de carrera, piso 1. Elaboración Propia.	126
Tabla 11. Cálculos térmicos unidades del área de cajas. Elaboración Propia.	127
Tabla 12. Cálculos térmicos unidades del área de gerencia. Elaboración Propia.	127
Tabla 13. Cálculos térmicos unidades del área de Postgrados. Elaboración Propia.	127
Tabla 14. Cálculos térmicos unidades del sector norte, piso 2. Elaboración Propia.	128
Tabla 15. Cálculos térmicos unidades sector sur, piso 3. Elaboración Propia.	128
Tabla 16. Cálculos térmicos unidades sector norte, piso 3. Elaboración Propia.	129
Tabla 17. Cálculos térmicos unidades sector sur, piso 4. Elaboración Propia.	129
Tabla 18. Cálculos térmicos unidades sector norte, piso 4. Elaboración Propia.	130
Tabla 19. Cálculos térmicos unidades sector sur, piso 5. Elaboración Propia.	130
Tabla 20. Cálculos térmicos unidades sector norte, piso 5. Elaboración Propia.	130
Tabla 21. Cálculos térmicos unidades laboratorio de radio y televisión, piso 5. Elaboración Propia.	131
Tabla 22. Cálculos térmicos totales. Elaboración Propia.	131
Tabla 23. Cálculos térmicos totales piso 1. Elaboración Propia.	132
Tabla 24. Cálculos térmicos totales piso 2. Elaboración Propia.	132
Tabla 25. Cálculos térmicos totales piso 3. Elaboración Propia.	132
Tabla 26. Cálculos térmicos totales piso 4. Elaboración Propia.	132

Tabla 27. Cálculos térmicos totales piso 5. Elaboración Propia.	133
Tabla 28. Propuesta de unidades evaporadoras. Elaboración Propia.	137
Tabla 29. Propuesta unidades condensadoras. Elaboración propia.	138
Tabla 30. Tabla de cargas eléctricas en KW (Evaporadores). Elaboración propia.	147
Tabla 31. Tabla de cargas eléctricas en KW (Condensadores). Elaboración propia.	148
Tabla 32. Cálculo de KW/h por año (Equipos nuevos). Elaboración propia.	148
Tabla 33. Cálculo de KW/h por año (Equipos actuales). Proporcionados por la universidad.	151
Tabla 34. Cálculo de KW/h por año (Equipos nuevos). Elaboración propia.	151
Tabla 35. Consumos eléctricos actuales. Elaboración propia.	153
Tabla 36. Consumo eléctrico propuesto de los evaporadores. Elaboración propia.	154
Tabla 37. Consumo eléctrico propuesto de los condensadores. Elaboración propia.	155
Tabla 38. Diferencia en consumos eléctricos. Elaboración propia.	155
Tabla 39. Diferencia de costos eléctricos anuales. Elaboración propia.	156
Tabla 40. Valor actual neto y tasa interna de retorno. Elaboración propia.	156
Tabla 41. Diámetro de tubería y espacios de los soportes recomendados.	169

Figuras

Figura 1. P en función de V para diversas temperaturas (T) Fuente: (Martín, 2006).	72
Figura 2. Transferencia hacia el sistema. (https://www.fisicalab.com).	73
Figura 3. Carta Psicométrica. (Cengel, 2008).	80
Figura 4. Figura de PVM contra el PDD en porcentaje. (UNE, 2021).	84
Figura 5. Diagrama de flujo de calor donde se indica la ganancia de calor de la construcción, el almacenamiento de calor y la carga térmica. (Pita, 2005).	90
Figura 6. Diferencia entre ganancia instantánea de calor y la carga de enfriamiento que resulta.	91
Figura 7. Componentes de la ganancia de calor del recinto, Q. (Pita, 2005).	92
Figura 8. Diagrama de flujo del Marco Metodológico. (Elaboración propia, 2021).	111
Figura 9. Datos de conducción. Elaboración Propia.	119
Figura 10. Factor de Corrección (FC) y valor K. Elaboración propia.	120
Figura 11. Datos de ganancia por transmisión en vidrios y ganancias por motores eléctricos y equipo motorizado. Elaboración propia.	123
Figura 12. Cargas térmicas por infiltraciones. Elaboración propia.	124
Figura 13. Cargas térmicas por ventilación. Elaboración propia.	125
Figura 14. Cargas térmicas por ductería. Elaboración propia.	125
Figura 16. Sumatoria de cargas térmicas. Elaboración propia.	126
Figura 17. Distribución de equipos Niveles 1 y 2. Elaboración propia.	139
Figura 18. Distribución de equipos Niveles 3 y 4. Elaboración propia.	140
Figura 19. Distribución de equipos Niveles 5 y Azotea. Elaboración propia.	141
Figura 20. Selección de tamaños de tuberías. (Daikin, VRV IV, 2013)	142
Figura 21. Diámetro de tuberías salida del condensador. (Daikin, VRV IV, 2013).	142
Figura 22. Diámetro de tuberías ramificación a evaporadores. (Daikin, VRV IV, 2013).	143
Figura 23. Tarifa de consumo eléctrico. (CNFL, 2021)	144
Figura 24. Soportería para tuberías tipo “pera” y “strut”.	167

Figura 25. Soportería para tuberías “B-line”.....	168
Figura 26. Unidad Condensadora VRV IV, Daikin (De 8HP a 12HP, 1 Compresor). (Daikin, PCVMT1541 aprov, VRV IV, 2015)	174
Figura 27. Datos Unidades Condensadoras de 8HP, 10 HP y 12HP. (Daikin, PCVMT1541 aprov, VRV IV, 2015).....	174
Figura 28. Unidad Condensadora VRV IV, Daikin (De 14HP a 22HP, 2 Compresores). (Daikin, 2015)	175
Figura 29. Datos Unidades Condensadoras de 14HP, 16 HP, 18 HP y 22HP. (Daikin, 2015)	175
Figura 30. Unidades Evaporadora Tipo Cassette de 1 vía. (Daikin, 2015)	176
Figura 31. Datos Unidades Evaporadora Tipo Cassette de 1 vía. (Daikin, 2015).....	176
Figura 32. Unidades Evaporadora Tipo Cassette de 2 vía. (Daikin, 2015)	177
Figura 33. Datos Unidades Evaporadora Tipo Cassette de 2 vía. (Daikin, 2015).....	177
Figura 34. Unidades Evaporadora Tipo Cassette de 4 vía. (Daikin, 2015)	178
Figura 35. Datos Unidades Evaporadora Tipo Cassette de 4 vía (De 2400 Kcal/h a 6900.....	178
Figura 36. Datos Unidades Evaporadora Tipo Cassette de 4 vía (De 7700 Kcal/h a 12000.....	179
Figura 37. Unidades Evaporadora Tipo Piso Cielo. (Daikin, 2015)	179
Figura 38. Datos Unidades Evaporadora Tipo Cassette de 4 vía (De 7700 Kcal/h a 1200.....	180

Ecuaciones

Ecuación 1. Eficiencia Energética. (ICE, 2017).....	63
Ecuación 2. Ley de gases ideales. (Sistema Inglés).	71
Ecuación 3. Ley de gases ideales. (Sistema Internacional).	71
Ecuación 4. Conservación de signos. (Howell y Buckius, 1990).....	72
Ecuación 5. Integración entre los dos estados. (Howell, 1990).....	73
Ecuación 6. Integral sobre toda la masa. (Howell, 1990).....	73
Ecuación 7. Densidad y volumen específico. (Howell, 1990).	73
Ecuación 8. Representación final de la ecuación. (Howell, 1990).....	74
Ecuación 9. Suma de las diferentes energías. (Howell, 1990).	74
Ecuación 10. Suma de las diferentes energías integrando los estados 1 y 2. (Howell, 1990).....	74
Ecuación 11. Ecuación final, sustituyendo las energías cinética y potencial. (Howell, 1990).....	74
Ecuación 12. Ecuación final, sustituyendo las energías cinética y potencial por unidad de masa. (Howell, 1990).	75
Ecuación 13. Entropía. (Howell, 1990).....	75
Ecuación 14. Sistemas compuestos por subsistemas. (Howell, 1990).	76
Ecuación 15. Segunda Ley Termodinámica expresada como integral en un sistema aislado.....	76
Ecuación 16. Generación de entropía. (Howell, 1990).	77
Ecuación 17. Segunda ley de la termodinámica con base a la rapidez del cambio.	77
Ecuación 18. Ecuación N°1 del cálculo del PVM. (UNE, 2021).....	81
Ecuación 19. Ecuación N°2 del cálculo del PVM. (UNE, 2021).....	81
Ecuación 20. Ecuación N°3 del cálculo del PVM. (UNE, 2021).....	81
Ecuación 21. Ecuación N°3 del cálculo del PVM. (UNE, 2021).....	81
Ecuación 22. Valor del PPD. (UNE, 2021).....	83

Ecuación 23. Calor de conducción. (ASHRAE, Handbook of Heating, Ventilation and Air Conditioning for Design and Implementation, 2010).	86
Ecuación 24. Calor de convección. (ASHRAE, Handbook of Heating, Ventilation and Air Conditioning for Design and Implementation, 2010).	87
Ecuación 25. Ecuación general de la transferencia de calor basado en Factor U. (ASHRAE, Handbook of Heating, Ventilation and Air Conditioning for Design and Implementation, 2010)... ..	87
Ecuación 26. Ecuación general de la transferencia de calor basado en Factor R. (ASHRAE, Handbook of Heating, Ventilation and Air Conditioning for Design and Implementation, 2010)... ..	88
Ecuación 27. Relación entre Factor U y Factor R. (ASHRAE, Handbook of Heating, Ventilation and Air Conditioning for Design and Implementation, 2010).	88
Ecuación 28. Calor sensible – Presión constante. Fuente (Pita, 2005).....	89
Ecuación 29. Calor sensible – Volumen constante. Fuente (Pita, 2005).....	89
Ecuación 30. Conducción a través de la estructura exterior (techos, paredes y vidrios).Conducción a través de la estructura exterior (techos, paredes y vidrios). (Pita, 2005).....	93
Ecuación 31. Diferencial de temperatura para cargas de enfriamiento, en techos y paredes exteriores. (Pita, E, 2005).....	93
Ecuación 32. Conducción a través de la estructura exterior, en techos y Paredes.	93
Ecuación 33. Diferencial de temperatura para cargas de enfriamiento, en vidrios. (Pita, E, 2005)..	94
Ecuación 34. Conducción a través de la estructura exterior, en vidrios.	94
Ecuación 35. Conducción de calor a través de la pared interior. (Pita, 2005).....	95
Ecuación 36. Radiación a través de los vidrios. (Pita, 2005).	95
Ecuación 37. Ganancia debida por alumbrado. (Pita, 2005).	96
Ecuación 38. Ganancia de calor sensible debida a personas. (Pita, 2005).	97
Ecuación 39. Ganancia de calor latente debida a personas. (Pita, 2005).	97
Ecuación 40. Ganancia de calor por equipo. (Pita, 2005).	98
Ecuación 41. Potencia eléctrica. (Boylestad, 2004).	98
Ecuación 42. Factor de corrección para las ganancias de calor sensible en el recinto. (Pita, 2005). ..	98
Ecuación 43. Factor de Conductancia por unidad de longitud. (Pita, 2005).	98
Ecuación 44. Carga de Calor sensible debido a la ventilación. (Pita, 2005).....	99
Ecuación 45. Carga de calor latente debido a la ventilación. (Pita, 2005).	99
Ecuación 46. Ecuación del calor sensible. (Pita, 2005).....	100
Ecuación 47. Densidad. (Pita, 2005).	100
Ecuación 48. Ecuación de calor latente. (Pita, 2005).	100
Ecuación 49. Masa de vapor de vapor de agua. (Pita, 2005).	101
Ecuación 50. Ganancia de calor en ductos. (Pita, 2005).	101
Ecuación 51. Ganancia por conducción en vidrios. (Pita, 2005).....	116
Ecuación 52. Ganancia por conducción en paredes. (Pita, 2005)	117
Ecuación 53. Valor de FC. (Pita, 2005)	119
Ecuación 54. Valor del factor K. (Pita, 2005)	119
Ecuación 55. Ganancia por transmisión en vidrios. (Pita, 2005)	121
Ecuación 56. Ganancia de calor por luminarias. (Pita, 2005)	122
Ecuación 57. Ganancias por ocupantes. (Pita, 2005)	122
Ecuación 58. Infiltraciones por fisura (cerrado). (Pita, 2005).....	123
Ecuación 59. Infiltraciones por aperturas. (Pita, 2005).....	123

Ecuación 60. Carga de ventilación por personas. (Pita, 2005).....	124
Ecuación 61. Carga de ventilación por área de piso. (Pita, 2005).....	124
Ecuación 62. Carga de ventilación por cambios por hora. (Pita, 2005)	124

Dedicatoria.

Dedico esta tesis principalmente a Dios, por haberme dado la vida y desarrollar los conocimientos necesarios para llegar a este paso tan importante de mi vida profesional. Por los triunfos y las dificultades que me han enseñado a valorar la importancia de mis esfuerzos.

A mi madre, con todo mi amor y cariño, que ha entregado todo de sí, y me orienta día a día para cumplir mis sueños y metas.

A mi padre, por el esfuerzo de levantarse en todos los momentos difíciles de nuestras vidas, por su apoyo incondicional y su entrega admirable.

A mis hermanas, que siempre están a mi lado brindándome apoyo, ayudándome incondicionalmente en todas las decisiones de mi vida, por estar presentes aún en esta etapa y aconsejarme y orientarme para dar siempre un poco más.

A mi novia Angie Fiorella Torres Salas, quien fue un soporte para el desarrollo del proyecto, me dio su apoyo y ayuda incondicional.

Agradecimientos.

Agradezco infinitamente a Dios, brindarme fuerza y valor para finalizar esta etapa de mi formación académica.

A mis padres por brindarme siempre su amor, apoyo y fe para cumplir mis sueños.

A mis hermanas por sus consejos, cariño y confianza para afrontar todos los desafíos y retos que se han presentado a lo largo de mi vida.

Un agradecimiento especial al Ing. Carlos Calderón Borge quien me brindó su ayuda y guía profesional para afrontar este reto y culminarlo de la mejor manera.

Mi profundo agradecimiento a todas las personas involucradas en este proyecto, las cuales aportaron significativamente de alguna manera su granito de arena y formando parte del cumplimiento de mis metas.

Resumen Ejecutivo.

El objetivo de la climatización es conseguir las condiciones adecuadas de confort tanto en términos de temperatura, humedad, así como lo correspondiente a la filtración y circulación de aire dentro de espacios cerrados ocupados. Se puede decir que la climatización comprende tres procesos fundamentales los cuales son: Calefacción, Ventilación y Refrigeración. Con base en esta definición se definen las siglas en inglés HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning), conocidas internacionalmente en la industria del acondicionamiento del aire.

La finalidad del siguiente proyecto es dotar el edificio de la Universidad con los equipos electromecánicos necesarios para contrarrestar las cargas térmicas, esto contemplando tanto de calor sensible, como el calor latente, de esta manera conseguir el grado de confort requerido por cada uno de los recintos según sus necesidades específicas.

Para esto se han calculado los valores de carga térmica reales en sitio, basados en las diferentes formas de transferencia de calor por medio de paredes, vidrios, puertas, equipo electrónico y mecánico. El presente proyecto comprende el estudio, análisis, cálculo y diseño de los sistemas requeridos para dicho objetivo, bajo las directrices y leyes vigentes en el país.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Según la RAE (Real Academia Española) (s.f.), confort es: “Aquello que produce bienestar y comodidades”. **FALTA PÁGINA O BIEN ELIMINAR LAS COMILLAS**. Los seres humanos tienden a buscar este concepto en cualquier situación, bien sea en un ambiente de descanso o bien en su ambiente laboral.

Los sistemas de climatización contribuyen al confort en diversos ámbitos, dotando al usuario con equipos que brindan en cierto nivel un bienestar que impiden que los sistemas termorreguladores de nuestro propio cuerpo entren en acción, evitando entre otros; efectos como la sudoración, vasodilatación o vasoconstricción.

El confort higrotérmico es sinónimo de bienestar térmico. Se puede decir que existe confort térmico cuando las personas no experimentan sensación de calor ni de frío; es decir, cuando las condiciones de temperatura, humedad y movimientos del aire son favorables a la actividad que desarrollan. Evaluar el confort térmico es una tarea compleja, ya que valorar sensaciones conlleva siempre una importante carga subjetiva. Si bien es cierto, existen algunas variables modificables que influyen en los intercambios de calor que se presentan entre el individuo y el ambiente que lo rodea, estos contribuyen en factores como son la temperatura del aire, de las paredes, de los objetos, la humedad del aire, su velocidad, incluso la actividad física que se realiza o la clase de vestimenta del individuo.

El acondicionamiento del aire es un proceso de tratamiento del aire ambiente en un punto determinado que consiste en regular la temperatura, mediante el enfriamiento, el grado de humedad, además garantiza la renovación o circulación del aire, en el algún caso su filtración y purificación.

Problema.

¿Cuál es el sistema de climatización que debe ser diseñado e instalado en el edificio académico para mejorar la distribución de los equipos, lograr un ahorro energético; esto tomando en cuenta las necesidades específicas de todos los espacios individualmente y logrando la mayor capacidad aprovechada en el circuito de refrigeración?

Objetivos.

Objetivo general.

- 1) Efectuar el diseño de un sistema de climatización eficiente que se adapte a las necesidades de los recintos, en los diferentes pisos del edificio académico, cumpliendo con los requisitos de cada una de las normas y códigos que rigen en el país.

Objetivos específicos.

- 1) Realizar el levantamiento de las cargas térmicas de los diferentes espacios de los pisos del edificio académico.
- 2) Determinar la totalidad de la carga térmica del edificio.
- 3) Elaborar propuesta de planos mecánicos constructivos del sistema de climatización del edificio académico.
- 4) Realizar análisis de costos de factibilidad y con esto establecer el valor actual neto (VAN), y la tasa de interna de retorno (TIR).
- 5) Diseñar e implementar rutinas de mantenimiento que promueva la vida útil de los equipos de climatización.

Justificación.

El propósito de este proyecto es realizar un estudio tanto técnico como económico, con el fin de establecer el equipamiento del sistema de aire acondicionado necesario, que contribuya con la climatización eficiente de los espacios en el edificio académico, y con esto brindar confort al personal de la institución, a la vida estudiantil y fomentar la conservación de los equipos electrónicos como lo son las computadoras en los distintos laboratorios en cada uno de los pisos, tomando en cuenta los costos de ejecución, cálculos de cargas térmicas y la factibilidad económica del proyecto.

Este estudio tendrá lugar en la universidad Edificio Principal Académico, en la Sede San José, ubicada en Costa Rica, San José, Aranjuez, Barrio San José, es una universidad privada, fundada en el 24 de abril del año de 1986, mediante el Consejo Nacional de Enseñanza Universitaria Privada y adicionalmente es importante mencionar que fue la primera en ser aprobada por este organismo en el país. Es una institución de educación superior que ofrece e impulsa el desarrollo estudiantil en diferentes áreas de conocimiento, enfocado en desarrollar profesionales que contribuyan a la sociedad por medio de planes estratégicos.

Este proyecto brinda un gran conocimiento profesional en una de las áreas importantes de la carrera de ingeniería electromecánica, y expande el aprendizaje en el campo del dimensionamiento de los sistemas de climatización, sistemas de control y potencia en la instalación de proyectos de esta índole.

Limitaciones.

- 1) Acceso a documentación relevante para el diseño de los sistemas de aire acondicionado, esto debido a que en muchos casos la literatura es restringida, uno de los casos más notables es el de la organización ASHRAE, este es un ente muy reconocido en temas de climatización, pero para la obtención de artículos y libros es requerida la membresía de forma anual.
- 2) Las mediciones de los datos climáticos se realizan en horas y en los lugares permitidos, esto dependiendo de la disponibilidad de los recintos.
- 3) Las labores de campo como la medición de temperatura de aire, temperatura de los materiales, humedad relativa y velocidad del viento, están delimitadas por la época del año en que se tomen.
- 4) Poco acceso en áreas determinadas de la edificación, complejidad para el acompañamiento a espacios importantes para los cálculos, y con todo esto el apoyo del personal de la universidad en muchos sectores.
- 5) Los planos arquitectónicos totalmente desactualizados con sectores que ya no existen y otros distintos, así como la entrega oportuna de documentación importante por parte de la administración del edificio.

Proyecciones.

- 1) La proyección de este trabajo de tesis se basa en la entrega de un diseño de climatización eficiente a la universidad donde se les presente un proyecto con el equipamiento electromecánico necesario y el análisis de costos y factibilidad económica para la inversión de cambiar el sistema de aire acondicionado del edificio académico principal; esto cubriendo todas las especificaciones en cada uno de los recintos individualmente y brindando un espacio de confort al usuario final.
- 2) Se evaluarán las condiciones arquitectónicas y electromecánicas de la infraestructura del edificio con la finalidad de determinar la disponibilidad del espacio y que este sea apto para la instalación de los equipos.
- 3) Se brindará un plan de mantenimiento preventivo con el cual se pretende conservar la vida útil de las unidades, así como de formar una guía detallada de la adecuada manipulación de estas.
- 4) Se creará un análisis financiero, esto para determinar la rentabilidad del proyecto, comparando las unidades actualmente instaladas en los diferentes recintos y el nuevo diseño que se implementará.

Antecedentes.**1) “Diseño de aire acondicionado para la biblioteca de la Universidad Fidélitas.”****Autor:** Luis Alvaro Granados Segura**Institución:** Universidad Fidélitas, Costa Rica**Año:** 2019

Este proyecto estaba enfocado en la instalación de un sistema de climatización en la Biblioteca de la Universidad Fidélitas, el tema fue brindar una propuesta de instalación de una unidad de aire acondicionado que proporcionara el confort térmico de este recinto, así como mantener una humedad estable para que los documentos físicos (libros) no se dañaran.

Se concluye que la elección del sistema de aire acondicionado ideal para el diseño de este proyecto fue la utilización de unidades inverter, los cuales poseen como principales características mantener condiciones de humedad y temperatura estables, esto es importante ya que, en el planteamiento inicial de mi propio diseño, esperando implementar este tipo de tecnología en sistemas de aire acondicionado de frecuencia variable (VRF).

2) “Modelo de Gestión Energética para los Sistemas de Aires Acondicionado del Campus Tecnológico Central Cartago del Instituto Tecnológico de Costa Rica.”**Autores:** Kimberly de los Ángeles Robles Rojas**Institución:** Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica**Año:** 2019

Dicho trabajo realizó el estudio del mejoramiento de los sistemas de aire acondicionado de la Sede Central del TEC, con la finalidad de verificar y aumentar la eficiencia, adicionalmente a esto, esta institución asumió la certificación de Carbono Neutralidad, por lo que para cumplir con las métricas establecidos por los entes

fiscalizadores, se desarrolló un modelo de gestión para el cambio de los distintos refrigerantes con los que contaba el complejo y sustituirlos si fuera necesario.

De este proyecto podemos reflejar el compromiso con el cumplimiento de las normativas país en temas de Carbono Neutralidad y la importancia de la implementación de tecnologías y refrigerantes amigables con el medio ambiente, esto contribuye en mi proyecto para el diseño de un sistema de climatización el cual vaya enfocado en la eficiencia del sistema, esto con la finalidad de lograr de igual manera impactar positivamente el ambiente y el consumo de energía.

3) “Diseño del Sistema de Climatización del Centro de Investigación en Ciencias del Movimiento Humano (CIMOHU) de la Escuela de Educación Física y del Deporte de la Universidad de Costa Rica.”

Autores: Armando Flores Mora, Ricardo Madrigal Corrales y Oscar Mauricio Romero Chinchilla

Institución: Universidad de Costa Rica, Costa Rica

Año: 2016

Este proyecto se desarrolló para el diseño de un sistema de climatización en una de las escuelas de la UCR enfocado en los diferentes modos y aplicaciones de la refrigeración. De este documento se extraen los programas utilizados para el cálculo de las cargas térmicas, así como la realización del diseño en planos mecánicos, con la finalidad de realizar una comparativa y utilizarlo como medio de verificación del diseño propuesto, se tomarán como una referencia y no como el cálculo en sí.

- “Cálculo de Carga Térmica: Hour Analysis Program (HAP) V.4.91, Carrier United Technologies.” (Versión actual, V.5.11).
- “Carta Psicrometrica: HDPsyChart V.3.1.61, Hands Down Software.” (Versión actual, V.7.02).
- “Autocad 2015, Autodesk.” (Versión actual, Autocad 2020).

4) “Estrategias de climatización pasiva aplicadas al Hospital Dr. Max Terán Valls, ubicado en Quepos de Aguirre en la zona de vida bosque húmedo.”

Autor: Raily María Solano Ramírez

Institución: Universidad de Costa Rica, Costa Rica

Año: 2011

Este proyecto se enfocaba en la realización climatizar las zonas del Hospital Dr. Max Terán Valls con base en climatización pasiva; lo que busca es mejorar los espacios sin tener que aumentar el consumo energético.

Es importante la consideración de todos los espacios a climatizar e individualizarlos, tomando las condiciones particulares donde se ubican y determinando el mejor diseño para el confort del usuario y no impactar negativamente la eficiencia del sistema.

5) “Cálculo de carga térmica para el suministro de aire acondicionado del laboratorio clínico y planes de mantenimiento preventivo para equipo de aire acondicionado clínico, Hospital Dr. Maximiliano Peralta Jiménez.”

Autor: Mario José Camareno Núñez

Institución: Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica

Año: 2016

Esta investigación desarrolló un sistema de climatización con tecnología VRV, la cual se extendía a lo largo de diferentes zonas del Hospital Dr. Maximiliano Peralta Jiménez para esta instalación se determinaron las cargas de cada espacio y según las necesidades de cada sala enfocado en el confort térmico del usuario final, así como en los equipos electrónicos encontrados en cada recinto.

Se realiza la lectura de la tesis y se encuentra relevante el apartado “**9.2 Selección de equipo de aire acondicionado.**”, este tabula la selección de las unidades de climatización a instalar las que se preseleccionaron según las cargas térmicas. Se extrae esto ya que para la

adecuada organización el planteamiento del proyecto y el orden en la ejecución en el diseño es importante contener todos los datos en tablas como estas, que permitan llevar un control adecuado y estricto.

6) “Propuesta de diseño para climatización de Planta 2 de la empresa Florida Retail.”

Autor: Michael Steven Morales Arias

Institución: Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica

Año: 2019

Se propone un mejoramiento y sustitución del sistema de enfriamiento en la Planta 2 de la empresa Florida Retail encargada del almacenamiento y congelado de productos para las panaderías Mussmani; la problemática inicial de este trabajo fue que en el periodo de instalación de las unidades no se cumplieron los parámetros necesarios para el adecuado manejo de la humedad en los equipos, como consecuencia se produjo altos niveles de hielo en las cámaras de congelado, la propuesta fue la colocación de pre-cámaras con la finalidad de disminuir el choque térmico entre la temperatura ambiente y la consigna en las cámaras establecida en -18°C .

Este trabajo como uno de sus alcances fue desarrollar un plan de mantenimiento el cual se desarrolló con la finalidad de que los equipos mantengan su vida útil a lo largo del tiempo establecido por el fabricante, así como evitar daños en el tratamiento del amoniaco, se toma como referencia algunos puntos del plan de mantenimiento que son relevantes en el cuidado de cualquier sistema de climatización.

7) “Climatización hotel 4 estrellas (Madrid).”

Autor: Mario Jiménez García

Institución: Universidad Carlos III de Madrid, España

Año: 2015

La tesis se basó en el diseño e instalación de un sistema de climatización para un hotel cuatro estrellas en la ciudad de Madrid, España; este proyecto se ejecutó con equipos tipo Volumen de Refrigerante Variable (VRV), los cuales contaban con bomba de calor para aprovechar el funcionamiento del modo calefacción y satisfacer el faltante de calor en temporada de invierno, y a su vez, en verano se aprovecha este mismo sistema para el calentamiento de agua, este utilizado en áreas de necesidad del hotel.

Se extrae como referencia de este trabajo, el inciso “**3.1.3 PRESENTACIÓN DE CÁLCULOS.**” debido a la forma que se emplea para desarrollar la presentación de los cálculos, lo cual deja notar todos los puntos importantes implementados a lo largo del proyecto y brinda un resumen adecuado para el lector. Esto es fundamental para la interpretación de los datos y la escogencia de todos los equipos requeridos para cada espacio a climatizar; es importante destacar que se emplearon muchos principios básicos de Excel, que con un poco de conocimiento técnico y aplicación se pueden desarrollar herramientas muy valiosas y efectivas.

3.1.3. PRESENTACION DE LOS CALCULOS

Ref. Obra:	Hotel 4* CI de Jesús Aprendiz (Madrid)									
N° Oferta:	Octubre 2015									
Local:	Despacho Director - PB									
CONDICIONES DE CÁLCULO										
Localidad:	Madrid									
Condiciones exteriores	T (°C)	H.R. (%)	Condiciones confort	T (°C)	H.R. (%)					
Verano	35	42	Verano	25	50					
Invierno	-1	55	Invierno	21	45					
DATOS DEL LOCAL										
Superficie [m ²]	26		Altura [m]	3,50						
Pared ext.	S* [m ²]	k	Vidrio	S [m ²]	k	fs	fps	Pared int.	S [m ²]	k
Norte	22,8	0,6	Norte	0,0	3,0	100%	60%		0,0	1,0
Sur	0,0	0,6	Sur	0,0	3,0	100%	60%			
Este	0,0	0,6	Este	0,0	3,0	100%	60%			
Oeste	16,0	0,6	Oeste	1,9	3,0	100%	60%			
Techo	25,8	1,0	Horizontal	0,0						
k = [kcal/h·m²·°C]										
(S*) incluyendo ventanas										
N° Personas	2		Iluminación	[W]		Otros	[W]			
Actividad	Sentado, trabajo muy ligero 120 W, 60% FCS		Fluorescente	240		Latente	0			
Caudal ventilación [m ³ /h] (*)	90		Incandescente	0		Sensible	251			

(*) La entrada de aire exterior al local está tratada mediante un equipo de recuperación entálpica

8) “Diseño de un sistema de aire acondicionado de bajo costo de operación para las oficinas administrativas del cuarto piso del edificio de ingeniería USAT – Chiclayo.”

Autor: Franco Antonio Germain Rodas Gómez

Institución: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Perú

Año: 2018

Este proyecto se ejecuta con la finalidad de instalar un sistema de aire acondicionado para climatizar un cuarto piso en un edificio de oficinas cumpliendo con las necesidades

térmicas y que sean equipos de bajo costo de operación. Para este proceso se selecciona un tipo de unidades por absorción de calor, implementando un tipo de panel solar o calentador de agua solar y realizando parte del intercambio de calor por medio de este.

Se extrae de este trabajo que se realizó el diseño para unas oficinas administrativas, y esto tiene mucha similitud con parte de mi proyecto de graduación, donde se detalla la información de la localidad, los planos de distribución de los equipos y la utilización de datos climatológicos de la ciudad donde se desarrollan las labores, se podría aprovechar este diseño e investigar a nivel país con el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) y determinar un histórico de la temperatura y humedad en las inmediaciones de la universidad.

9) “Repercusión arquitectónica del volumen de las instalaciones en los edificios de oficinas: análisis de las instalaciones de aire acondicionado.”

Autor: Cristina Cabello Matud

Institución: Universitat Politècnica de Catalunya, España

Año: 2016

Este proyecto es en síntesis un trabajo arquitectónico y lo que se busca con este es optimizar el diseño contemplando la parte eléctrica, mecánica y arquitectónica, utilizando los diferentes espacios de las oficinas (techo, paredes, pisos) al máximo, se puede extraer la “Tabla 1.0.”, donde se expresa el porcentaje de volumen que ocupan las distintas instalaciones, esta tabla fue generada a partir de las necesidades de la Ing. Cristina Carballo Matud y contribuye a la distribución de los diferentes elementos a nivel de diseño de un sistema de climatización.

Instalaciones	% Volumen / Volumen edificio
Instalaciones de electricidad	Ocupación mínima
Instalaciones de transportes y líquidos	(< 0,1%)
Transporte de circuitos químicos (gas...)	(< 0,5%)
Instalaciones de transporte de sólidos y ventilación	(< 1,0%)
Transporte de energía por aire	hasta 2%
Transporte de personas	10% - 20%

[Tabla 1.01]. Repercusión volumétrica de las instalaciones respecto al volumen del edificio.

Es importante tener en cuenta, a la hora de realizar el diseño, que el lugar sea apto para la instalación según lo requerido por el sistema de climatización como lo son: las tuberías, soportarías, drenajes y cableado, ya que un mal planteamiento puede incurrir en gastos operativos y problemas de ejecución a lo largo del proyecto.

10) “Sistemas de acondicionamiento de aire en arquitectura.”

Autor: Carlos Giovanni Loarca Martínez

Institución: Universidad San Carlos, Guatemala

Año: 2015

Este trabajo se enfoca en la elaboración de una guía para el cálculo de sistemas de climatización que sea de fácil acceso y comprensión para los alumnos de la Escuela de Arquitectura de la Universidad San Carlos de Guatemala, además de dar a conocer los diferentes tipos de unidades de aire acondicionado y enfocarlos a la necesidad particular de acuerdo con la infraestructura arquitectónica disponible.

Este proyecto contribuye como una guía para efectuar la hoja de cálculo que se debe de elaborar, el libro de Excel que se crea tiene dos métodos de calcular el diseño de los sistemas de climatización: el primero enfocado en ambientes no mayores a treinta y cuatro metros cuadrados los cuales hayan sido construidos sin análisis previo para la instalación de

aires acondicionado y el segundo método diseñar y planificar ambientes arquitectónicos que incluyan la instalación de sistemas de climatización. Esto se puede tomar en consideración para implementarlo dentro del marco metodológico, planificando y considerando esta guía como una base de lo que se intenta ejecutar.

11) “Dimensionamiento de túnel de aire acondicionado.”

Autor: Martín Romero Fidalgo

Institución: Universidad Coruña, España

Año: 2016

Este trabajo pretende realizar el estudio de un sistema de climatización en un laboratorio contemplando cálculos hidráulicos del circuito frigorífico y también del cálculo térmico, esto debido a la utilización de dos diferentes fluidos refrigerantes (agua y refrigerante R-22). Este proyecto no brinda ningún aporte positivo para el diseño que se piensa implementar en esta tesis, porque se basa en circuitos de refrigeración obsoletos, los cuales no cumplen con las normas actuales en temas de refrigerantes y sistemas de climatización en sí, por lo que sería prudente no apoyarse en este material en lo que concierne al diseño, sin embargo, se puede contar con apartados y referencias para el marco teórico.

12) “Diseño y construcción de un acondicionador de aire ecológico.”

Autor: Junior Paúl Torres Ordóñez

Institución: Universidad de Guayaquil, Colombia

Año: 2014

Este proyecto se basa en la creación de un sistema de climatización que sea totalmente nuevo y no en la utilización de equipos construidos posteriormente con el fin de demostrar una invención ecológica y que contribuya con la conservación del medio ambiente. El tema nos da un enfoque innovador en la climatización y nos brinda un apoyo didáctico en el desarrollo de diseños basados en la conservación del medio ambiente, esto promoviendo la

utilización de refrigerantes que no impacten directamente la capa de ozono, sin dejar de lado que sean proyectos de bajos costos económicos tanto para su instalación, como en la operativa.

Se realiza la proyección de la implementación de esta metodología en el diseño del sistema de climatización de mi proyecto y se deben de llevar a cabo mediciones en los ámbitos de ahorro energético en la factibilidad, eficiencia de las unidades a instalar y proponer la cultura de carbono neutralidad en todos los proyectos futuros.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

El presente capítulo corresponde a la investigación teórica y consiste en detallar teóricamente los temas que se van a presentar a lo largo del proyecto para lograr una mejor comprensión del lector. Por ende, es indispensable conocer el significado, el origen y la utilidad de los términos más importantes y mencionados en la investigación, ya que permitirá un mejor entendimiento de lo que es el análisis y la solución del problema planteado.

Este capítulo se realiza mediante la recopilación de información con las respectivas referencias de diferentes autores de libros, artículos, revistas, documentos de fabricantes y sitios web, que estén relacionada con los sistemas climatización.

A continuación, se van a desarrollar las herramientas y los conceptos importantes que se van a utilizar en el proyecto.

Reseña histórica.

En la antigüedad, los egipcios ya utilizaban sistemas y métodos para reducir el calor. Se utilizaba principalmente en el palacio del faraón, cuyas paredes estaban formadas por enormes bloques de piedra con un peso superior a mil toneladas.

En 1842, Lord Kelvin inventó el principio del aire acondicionado con el objetivo de conseguir un ambiente agradable y sano; este científico creó un circuito frigorífico hermético basado en la absorción del calor a través de un gas refrigerante. Para ello se basó en tres principios:

- El calor se transmite de la temperatura más alta a la más baja, como cuando enfriamos un café introduciendo una cuchara de metal a la taza y esta absorbe el calor.
- El cambio de estado del líquido a gas absorbe calor. Por ejemplo, si humedecemos la mano en alcohol sentimos frío en el momento en que éste se evapora puesto que absorbe el calor de nuestra mano.

- La presión y la temperatura están directamente relacionadas. En un recipiente cerrado como una olla, necesitamos proporcionar menor cantidad de calor para llegar a la misma temperatura que en uno abierto.

Un aparato de aire acondicionado sirve, tal y como indica su nombre, para el acondicionamiento del aire. Éste es el proceso más completo de tratamiento del ambiente en un local cerrado y consiste en regular la temperatura, ya sea calefacción o refrigeración, el grado de humedad, la renovación o circulación del aire y su limpieza, es decir, su filtrado o purificación.

En 1902, el estadounidense Willis Haviland Carrier sentó las bases de la refrigeración moderna al encontrarse con los problemas de la excesiva humidificación del aire enfriado, las del aire acondicionado, desarrollando el concepto de climatización de verano.

Aunque Willis Haviland Carrier es reconocido como el “padre del aire acondicionado”, el término “aire acondicionado” fue utilizado por primera vez por el ingeniero Stuart H. Cramer, en la patente de un dispositivo que enviaba vapor de agua al aire en las plantas textiles para acondicionar el hilo.

En 1911, Carrier reveló su Fórmula Racional Psicométrica Básica a la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos. La fórmula sigue siendo hoy en día la base de todos los cálculos fundamentales para la industria del aire acondicionado. En 1915, entusiasmados por el éxito, Carrier y seis amigos ingenieros reunieron 32,600 dólares para formar la Compañía de Ingeniería Carrier, dedicada a la innovación tecnológica de su único producto: el aire acondicionado.

Durante aquellos años, su objetivo principal fue mejorar el desarrollo de los procesos industriales con máquinas que permitieran el control de la temperatura y la humedad. Por casi dos décadas, el uso del aire acondicionado estuvo dirigido a las industrias más que a las personas. En 1921, Willis Haviland Carrier patentó la Máquina de Refrigeración Centrífuga; también conocida como enfriadora centrífuga o refrigerante centrifugado, fue el primer método para acondicionar el aire en grandes espacios.

Las máquinas anteriores usaban compresores impulsados por pistones para bombear a través del sistema el refrigerante, a menudo amoníaco, tóxico e inflamable. Carrier diseñó un compresor centrífugo similar a las paletas giratorias de una bomba de agua. El resultado fue un enfriador más seguro y eficiente.

En 1928, Willis Haviland Carrier desarrolló el primer equipo que enfriaba, calentaba, limpiaba y hacía circular el aire para casas y departamentos, pero la Gran Depresión en los Estados Unidos puso punto final al aire acondicionado en los hogares. Las ventas de aparatos para uso residencial no empezaron hasta después de la Segunda Guerra Mundial. A partir de entonces, el confort del aire acondicionado se extendió a todo el mundo.

El calor y el frío que sienten las personas no sólo dependen de la temperatura ambiental sino también de la humedad y de la apropiada distribución del aire. La climatización es el proceso de tratamiento del aire que controla simultáneamente su temperatura, humedad, limpieza y distribución para responder a las exigencias del espacio climatizado. Para obtener el confort deseado, es necesario que el aire sea distribuido y circule uniformemente por todo el recinto sin producir corrientes desagradables.

Por último, la eliminación de las partículas de polvo es fundamental para la salud. Conseguir un adecuado filtrado de aire es una labor básica de un equipo de aire acondicionado. Además de la comodidad que disfrutamos con el aire acondicionado en un día cálido y húmedo de verano, actualmente muchos productos y servicios vitales en nuestra sociedad dependen del control del clima interno como los alimentos, la ropa y la biotecnología para obtener químicos, plásticos y fertilizantes.

El aire acondicionado juega un rol importante en la medicina moderna, desde sus aplicaciones en el cuidado de bebés y las salas de cirugía hasta sus usos en los laboratorios de investigación. Sin el control exacto de temperatura y humedad, los microprocesadores, circuitos integrados y la electrónica de alta tecnología no podrían ser producidos. Los centros computacionales dejarían de funcionar. El aire acondicionado inventado por Willis Haviland Carrier ha hecho posible el desarrollo de muchas áreas tropicales y desérticas del mundo que dependen de la posibilidad de controlar su medio ambiente.

Definiciones y conceptos importantes.

En este aparatado se toman referencias en los términos de la Real Academia Española, pero se les da un enfoque técnico basado en el proyecto a desarrollar.

Acondicionamiento del aire:

“El acondicionamiento de aire es el proceso de tratamiento del mismo en un ambiente interior con el fin de establecer y mantener los estándares requeridos de temperatura, humedad, limpieza y movimiento”. (Pita, 2005). FALTA NÚMERO DE PÁGINA

Calor:

Es una forma de energía relacionada directamente con la vibración molecular. Cuando calentamos una sustancia, sus moléculas se mueven rápidamente, generando así una energía, el calor. Si la enfriamos el movimiento molecular se detiene bajando la temperatura.

Humedad:

Se refiere a la cantidad de agua contenida en el aire y está directamente relacionada con la sensación de bienestar. El aire ambiente se controla para mantener la humedad relativa preestablecida mediante la humidificación o deshumidificación del aire ambiente.

Cadena de frío:

Es la serie de etapas de almacenamiento y comercialización de los productos después del proceso de fabricación. Se requiere que la temperatura en todas las etapas sea igual o lo más cercano posible a la temperatura inicial.

Entalpía:

Se refiere a la cantidad energética interna contenida en un producto más la multiplicación de su volumen por la presión exterior.

Entropía.

Es una propiedad extensiva del equilibrio, indica el grado de desorden molecular de un sistema; siempre debe aumentar o permanecer constante en un sistema aislado.

Calor latente:

Se define como la cantidad de energía necesaria para que cierta sustancia pase de un estado a otro.

Calor sensible:

Es el calor relacionado con un cambio de la temperatura, pero sin alterar el estado original de la sustancia.

Conductividad térmica:

Corresponde a una propiedad física de los materiales que indica qué tan buen conductor de calor es el material.

Humedad relativa:

Se define como la relación entre la cantidad real de humedad presente en el aire a una temperatura establecida y la máxima cantidad que el aire permite contener a esta temperatura.

Presión absoluta:

Se define como el valor de presión que contempla la presión atmosférica.

Presión manométrica:

Es la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica.

Temperatura:

Es la variable física que indica qué tan caliente o frío está un cuerpo mediante un valor numérico asociado.

Punto de rocío:

Es el punto en que el vapor de agua en el aire empieza a condensar formando partículas líquidas.

El ruido:

El ruido es la sensación auditiva inarticulada generalmente desagradable para el oído.

Filtración del aire:

La correcta filtración ayuda a mantener el aire del sistema libre de contaminantes y polvo que puedan afectar la salud de los usuarios.

Esterilización:

Se denomina esterilización al proceso por el cual se obtiene un producto libre de microorganismos. Para el caso de Costa Rica, que es un país tropical, por lo que para este diseño no se toma en cuenta un sistema de calefacción, sino que se presta mayor cuidado al control de la humedad y temperatura del sitio a acondicionar.

Refrigeración:

La refrigeración es un proceso que consiste en mantener la cantidad de calor de un cuerpo o un espacio.

Tonelada de refrigeración:

Es la cantidad energética requerida para fundir una tonelada de hielo en un lapso de 24 horas que equivale a una potencia en equipos de refrigeración.

Componentes básicos del sistema de refrigeración**Evaporador:**

Es un intercambiador de calor entre dos fluidos, de modo que mientras que a uno de ellos se le extrae calor el otro se calienta, generalmente esto se logra pasando gas refrigerante en su estado líquido original a estado de vapor. Cualquier superficie de transferencia de calor que vaporice un líquido es un evaporador, existen muchos tipos, tamaños y diseños distintos. Una de las formas más simples de clasificarlos es según su tipo:

- Tubo descubierto.
- De placas.
- Serpentin con aletas.

Los evaporadores con serpentines con aletas son los más utilizados en equipos de climatización; son fabricados con tubos desnudos y colocando placas metálicas como aletas sobre estos, generalmente de aluminio, estas tienen una función fundamental ya que aumentan la superficie de transferencia de calor, mejorando la eficiencia para la extracción de calor del aire y otros gases.

Condensador:

Como el evaporador, se basa en un intercambiador de calor entre dos fluidos que transfiere energía desde una condición a otra. En el circuito de refrigeración, el condensador es el encargado de convertir el refrigerante de estado gaseoso a estado líquido. El principal objetivo de los condensadores es disipar el calor absorbido por el refrigerante en el evaporador y también la energía generada por el compresor. Estos se pueden clasificar en tres tipos principales, los cuales son:

- Enfriados por aire.
- Enfriados por agua.
- Evaporativos.

El condensador enfriado por aire es el más común de todos los tipos, y es el más utilizado en los sistemas de climatización, los serpentines son colocados directamente en el exterior, con la ayuda de un ventilador, se logra circular mayor cantidad de flujo de aire a través de las tuberías y aletas, por tanto, aumenta la transferencia de calor.

Dispositivo de expansión:

Es el elemento fabricado con precisión para obtener un flujo de refrigerante exacto para una refrigeración óptima. Este separa el lado de alta presión con el de baja presión y lo hace disminuyendo la presión del fluido pasando el refrigerante de una etapa donde se encuentra con alta presión y temperatura, a otro donde se tiene mucha menor presión y temperatura.

Existen varios tipos de dispositivos de expansión, entre ellos están:

- Tubo capilar.
- Válvula de expansión manual.

- Válvula de expansión termostática.
- Válvula de expansión electrónica.
- Válvula de expansión automática.
- Orificio calibrado.

La utilización de cada una de ellas depende del tipo de unidad que se requiere, los equipos de expansión directa por lo general utilizan tubos capilares para los equipos pequeños y las válvulas termostáticas y orificio calibrado en unidades de mayores capacidades. Para los equipos con tecnologías modernas y de mucho mayor manejo del refrigerante, se utilizan en los evaporadores individualmente los dispositivos de expansión como las válvulas electrónicas, las cuales cuentan con dos partes fundamentales, las cuales son:

1. El cuerpo de la válvula: Se encarga de realizar el paso del refrigerante entre el lado de alta y el de bajo.
2. El actuador: El cual cuenta con un pin roscado, este es manipulado por medio de pulsaciones que generan la tarjeta, este sube o baja según las demandas de la unidad, permitiendo o no el paso de refrigerante.

Compresor:

Es llamado el corazón del sistema, este cumple con dos funciones en el ciclo de refrigeración, el primero es succionar el vapor de refrigerante y reduce la presión en la evaporación a un nivel en el que puede ser mantenida la temperatura requerida. La segunda función es elevar la presión del vapor refrigerante hasta que la temperatura de saturación sea superior a la temperatura del medio ambiente, esto es indispensable para el proceso de condensación del gas refrigerante.

Existen cinco tipos de compresores principales, los cuales tienen diferentes aplicaciones en la industria, estos son:

- Compresores reciprocantes.
- Compresores rotativos.
- Compresores centrífugos.
- Compresores de paletas.
- Compresores scroll.

- Compresores de tornillo.

Los usos y aplicaciones de cada uno de estos son muy variados y cada uno de ellos va enfocado en un mercado y según las necesidades de cada equipo de refrigeración. Los compresores rotativos son utilizados en refrigeración doméstica, los centrífugos se emplean en grandes sistemas centrales de climatización donde es requerida la implementación de módulos, los de tornillo se fabrican para manejos de refrigerante elevados, generalmente se instalan en circuitos de baja temperatura para cámaras de supermercados.

Los scroll, por su parte, gracias a su eficiencia y función, son comúnmente usados en sistemas de climatización de industrial o de oficinas, se les puede incorporar tecnologías modernas como lo son los digital scroll o inverter, las cuales tienen la finalidad de variar el flujo de refrigerante que comprimen.

Refrigerantes:

Es el medio de enfriamiento y de intercambio de calor, generalmente son las sustancias encargadas de producir el intercambio térmico en el sistema de climatización mediante un cambio de fase.

Sistema de filtración de aire:

Los filtros se usan como medio de control de contaminantes por partículas sólidas suspendidas, elementos biológicos y en algunos casos gaseosos. Algunos de los contaminantes externos al recinto son, por ejemplo, el polvo, ceniza, polen, polvo o virus, pero también tenemos contaminantes internos los cuales son: bacterias, humos, fibras, entre otros.

Para la selección de los filtros se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Nivel de filtración requerido: se debe tomar en cuenta la aplicación del filtro, para esto nos basaremos en el estándar de pruebas 52,1 y 52,2 de la ASHRAE. (ASHRAE, Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size, 2017).

Calificación	Eficiencia	Tamaño de partículas	Aplicaciones	Tipo de filtro
MERV 1 - 4	<20%	> 10 micras	Residencial	Permanente
			Comerciales ligeros	De metales
			Equipo	Espuma
			Fibra de vidrio	
			Grupo Poli	
MERV 5 - 8	<20 a 35%	3 a 10 μm	Comercial	Filtros plegados
			Industrial	Tackified
			Mejor Res.	
			Cabina de pintura	
MERV 9 - 12	40 a 75%	1 a 3 μm	Res. – Mejor	Plisado
			Comercial	Caja rígida
			Telecomunicaciones	Rígida célula
			Industrial	Bolsa
MERV 13 - 16	80 a 95%	0,3 a 1 μm	La eliminación de humos	Rígida de celda
			Cirugía General	Bolsas
			Hospitales	V-Cell
			Cuidado de la Salud	Mini-plegüe
			Superior Com.	

Tabla 1. Eficiencia de Filtración según su valor de MERV (ASHRAE, Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size, 2017).

- Determinar la caída de presión: los filtros representan una caída de presión al flujo de aire que lo atraviesa y depende de la fabricación y del grado de MERV, así como de la eficiencia de este. Entre mayor ser el MERV, mayor caída habrá.

Todos los fabricantes de filtros indican por medio de la ficha técnica los valores de las caídas de presión, esto para tomarlo en consideración a la hora de realizar un diseño, ya que el ventilador debe de sobre llevar esta caída y la operativa de la máquina.

En las fichas técnicas podemos encontrar tres valores para las caídas de presión y estos varían según las condiciones de operación de los filtros:

- Filtros sucios, producen una mayor resistencia.

- Vida media, resistencia promedio.
 - Filtros nuevos, implican una menor resistencia.
- Determinar la velocidad del aire a través del filtro: El valor recomendado del flujo del aire a través de un filtro de un sistema de climatización es de 2.54 m/s (500fpm). (ASHRAE, Handbook of Heating, Ventilation and Air Conditioning for Design and Implementation, 2010).
- Determinar el tipo de filtro: Esto depende de la eficiencia buscada, el espacio físico de la máquina y el costo. Entre los tipos de filtros más comunes podemos encontrar:
 - Filtros de papel.
 - Filtros de superficie extendida.
 - Filtros de bolsa.
 - Filtros de Cartucho.
 - Filtros planos con pliegues internos.
 - Filtros de celda rígida.
 - Filtros HEPA (High Efficiency Particle Air Filter).
 - Filtros ULPA (Ultra Loss Penetratin Air Filter).
- Tipo de montaje: cada equipo que requiera circulación de aire en un sistema de climatización tiene al menos un tipo de montaje para sus filtros, este depende de la forma que se instalación en el equipo.
 - Montaje frontal: Los filtros se instalan frontalmente en el rack de filtros y se puede desinstalar cada filtro según se requiera, es necesario contar con un espacio libre frente al rack para estas operaciones y cambios filtros.
 - Montaje lateral: Este montaje permite instalar los filtros lateralmente, de modo que se instalan de forma consecutiva uno detrás del otro en caso de tener filtros múltiples. Estos requieren menos espacio de instalación.

Ventilador o turbina:

Es el componente encargado de generar un flujo de aire, el cual crea una diferencia de presión necesaria para mover un determinado flujo a través del sistema de aire acondicionado desde un punto hasta otro. Los ventiladores se diferencian por la inclinación de sus alabes, cada tipo de ventilador tiene su propia curva característica:

- Curvo hacia adelante, (forward curved).
- Curvo hacia atrás, (backward curved).
- Airfoil.
- Lineales hacia atrás, (backward inclined).
- Radial.

Tuberías:

Son las encargadas de alojar el gas refrigerante y se distinguen por su diámetro exterior siendo más estrechas en alta presión y más anchas en baja presión.

Filtro deshidratador:

Es un filtro situado entre el compresor y el condensador o formando partes de éste según el diseño. Tiene la misión de filtrar y secar de restos de humedad del gas refrigerante.

Presostatos:

Son elementos de seguridad que cortan la alimentación eléctrica del compresor en caso de presiones erróneas. Suelen ir montados a la entrada y a la salida del compresor para la baja y alta presión.

Sistemas de control y monitoreo:

Los sistemas de control y monitoreo son muy variados y utilizados para la regulación de los sistemas de climatización, pueden ser de manera manual o automática y se encuentran de las maneras más sencillas como botoneras o manijas como sistemas complejos como BMS o controles centralizados.

A continuación, un breve repaso de algunos términos importantes que utilizados en los sistemas de control:

- Sensores: dispositivos que miden variables predeterminadas del medio controlador.
- Controladores: leen señales enviadas por los sensores y la convierten en una señal de salida basada en programación.
- Actuadores: reciben la señal de los controladores y actúan sobre el equipo o algún componente causando un cambio en el medio controlador.

Se dice que todo sistema de control monitorea, lee y responde a diferentes comandos. En los últimos tiempos estos dispositivos han ganado mucha importancia en las tecnologías modernas y entre los aspectos más importantes se encuentran:

- Control continuo en tiempo real.
- Registro continuo de variables importantes.
- Interconexión con otras interfaces.
- Facilidad de conexión.
- Múltiples operarios en conjunto.
- Programables.
- Posibilidad de manipular las variables (temperatura, humedad, horarios, entre otros) de forma muy precisa.

Existen diferentes tipos de controles dependiendo de las aplicaciones y operación:

1. Controles eléctricos:

- Usados comúnmente en aplicaciones residenciales o comerciales.
- Operan a diversos voltajes (120V, 208V, 240V, 480V).
- Pueden ser monofásicos o trifásicos.
- Trabajan en conjunto con otros componentes mecánicos como termostatos bimetalicos, resortes o fuelles para el accionamiento de interruptores.

2. Controles electrónicos:

- Operan a bajo voltaje o corrientes pequeñas y utilizan elementos de estado sólido para amplificar las señales de entrada a los controladores (0-24VAC, 0-10VDC y de 4-20mA).

- Son programables.
 - Muy utilizados para controles de dos posiciones, proporcionales integrales y escalonado.
3. Controles neumáticos:
- Usados comúnmente en aplicaciones de medio y gran tamaño.
 - Operan con aire comprimido a bajas presiones entre los 100 a 200 KPa (0-15 PSIG).
 - El sensor causa un cambio en la presión de aire y esto coincide a una reacción en el actuador o motor controlado.
4. Controles digitales (DDC):
- Operan bajo el concepto de microprocesadores que recibe la señal de un sensor y desarrolla una rutina para actuar sobre un actuador o una secuencia de operación previamente programada.
 - Consisten en entradas y salidas digitales o analógicas, controladores, convertidores, fuentes de potencia y un programa de computadora.
 - Este tipo de controles pueden trabajar en red, trabajar juntamente con actuadores y sensores eléctricos, electrónicos y neumáticos.
 - Permite correcciones, cambios o actualizaciones a la secuencia programada.

Gases refrigerantes:

Un refrigerante es “un medio (fluido) para la transferencia de calor, que se utiliza en un sistema de refrigeración para absorber calor al evaporarse a temperatura y presión bajas, y ceder calor al condensarse a temperatura y presión mayores”. (Hinklin, 1999) FALTA LA PÁGINA Estos se normalizan por un color y clase definida mediante la Assignment of Refrigerant Container Colors (ASRI) Guideline publicada en el 2016, la cual establece lo siguiente:

R-125 ¹	Medium Brown (Tan)	465	II
R-134a	Light Blue (Sky)	2975	II
R-236fa	Dark Grey (Battleship)	424	II
R-245fa	Maroon	194	II
R-401A	Pinkish-Red (Coral)	177	II
R-401B	Yellow-Brown (Mustard)	124	II
R-401C	Blue-Green (Aqua)	3268	II
R-402A	Light Brown (Sand)	461	II
R-402B	Green-Brown (Olive)	385	II
R-403B ²	Light Purple (Lavender)	251	II
R-404A	Orange	021	II
R-407A	Lime Green	368	II
R-407B	Cream	156	II
R-407C	Medium Brown (Brown)	471	II
R-407D	Dark Brown (Chocolate)	450	II
R-407F	Green-Yellow-White	373	II
R-408A	Medium Purple (Purple)	248	II
R-409A ¹	Medium Brown (Tan)	465	II
R-410A	Rose	507	II
R-411A	Dark Purple (Violet)	266	IV
R-411B	Blue-Green (Teal)	326	IV
R-413A	Deep Blue	3015	II
R-414A	Beige	4545	II
R-414B	Medium Blue (Blue)	2995	II
R-416A	Yellow-Green (Lime)	381	II
R-417A	Green	354	II
R-421A	Light Green-Blue	333	II
R-422A	Yellow-Orange	128	II
R-422D	Green-Yellow	375	II
R-423A	Wedge Wood Blue	292	II
R-424A	Black	None	II
R-426A	Pastel Orange	804	II
R-427A	Green-Blue (Jungle Green)	3405	II
R-428A	Traffic Yellow	803	II
R-434A	Sulfur Yellow	388	II
R-437A	Royal Blue	286	II
R-438A	Blue Jay	2727	II
R-442A	Night Blue	268	II
R-448A	Gentian Blue	300	II
R-449A	Grayish Blue	7707	II
R-450A	Sapphire Blue	2955	II
R-452A	Metallic Blue	2746	II
R-453A	Dark Purple (Violet)	266	II
R-455A	Sea Foam Green	3395	IV
R-500	Yellow	109	II
R-502 ²	Light Purple (Lavender)	251	II
R-503	Blue-Green (Aqua)	3268	III
R-507A	Blue Green (Teal)	326	II
R-508B	Dark Blue (Navy)	302	III
R-513A	Sky Blue	7460	II
R-514A	Pinkish Purple	523	II

Tabla 2. Norma de colores de los refrigerantes. (AHRI, 2016).

- PMS = Pantone® Matching System, es un lenguaje de colores de impresión, publicación y empaque.
- Clase I
Refrigerantes líquidos: Punto de ebullición normal superior a 20 °C. Este producto normalmente es envasado en cilindros.

- Clase II

Refrigerantes de baja presión: estos refrigerantes cumplen con la definición de gas comprimido y el cilindro tiene un mínimo de presión de servicio que no puede exceder los 3447 kPa calibrado.

- Clase III

Refrigerantes de alta presión: estos refrigerantes cumplen con la definición de gas comprimido y el cilindro tiene un mínimo de presión de servicio que exceden los 3447 kPa calibrado.

- Clase IV

Refrigerantes explosivos

Notas:

1. Los refrigerantes R-125 y R409A son utilizados en diferentes aplicaciones.
2. El R-403B no debe de ser utilizado como sustituto del R-502 por requerimientos EPA.

Clasificación de los refrigerantes:

“De acuerdo con la clasificación estándar 34 de ASHRAE, a los refrigerantes se les asignan una nomenclatura según las características del origen al que correspondan. Estos orígenes conforman las series, las cuales son conocidas de manera universal.” (ASHRAE, Handbook of Heating, Ventilation and Air Conditioning for Design and Implementation, 2010)

Serie	Nombre	Algunos refrigerantes
000	Metanos	R12, R23
100	Etanos	R134a, R141b
200	Propanos	R290
400	Zeotropos	R407, R410a
500	Azeotropos	R502, R507
600	Orgánicos	R600, R600a
700	Inorgánicos	R717, R744

Tabla 3. Clasificación de los refrigerantes. (ASHRAE, Handbook of Heating, Ventilation and Air Conditioning for Design and Implementation, 2010).

Normas, leyes y protocolos

Protocolo de Kyoto:

El Protocolo de Kyoto fue aprobado el 11 de diciembre de 1997. Debido a un complejo proceso de ratificación, entró en vigor el 16 de febrero de 2005. Actualmente, hay 192 partes dentro de este protocolo. Este protocolo pone en funcionamiento la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC), comprometiendo a los países industrializados a limitar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de conformidad con las metas individuales acordadas. La propia Convención sólo pide a esos países que adopten políticas y medidas de mitigación y que informen periódicamente.

El Protocolo de Kyoto se basa en los principios y disposiciones de la Convención y sigue su estructura basada en los anexos. Solo vincula a los países desarrollados y les impone una carga más pesada en virtud del principio de "responsabilidad común pero diferenciada y capacidades respectivas", porque reconoce que son los principales responsables de los actuales altos niveles de emisiones de GEI en la atmósfera.

En su Anexo B, el Protocolo de Kyoto establece objetivos vinculantes de reducción de las emisiones para 36 países industrializados y la Unión Europea. En conjunto, esos objetivos suponen una reducción media de las emisiones del 5 % en comparación con los niveles de 1990 en el quinquenio 2008-2012 (el primer período de compromiso).

En Doha (Qatar), el 8 de diciembre de 2012, se aprobó la Enmienda de Doha al Protocolo de Kyoto para un segundo período de compromiso, que comenzaría en 2013 y duraría hasta 2020, sin embargo, la Enmienda de Doha aún no ha entrado en vigor; se necesitan un total de 144 instrumentos de aceptación para la entrada en vigor de la enmienda.

La enmienda incluye:

- Nuevas responsabilidades para las Partes del Anexo I del Protocolo de Kyoto que acordaron asumir compromisos en un segundo período, del 1 de enero de 2013 al 31 de diciembre de 2020;
- Una lista revisada de los GEI sobre los que deberán informar las Partes en el segundo período de compromiso
- Enmiendas a varios artículos del Protocolo de Kyoto que se referían específicamente a cuestiones relativas al primer período de compromiso y que debían actualizarse para el segundo período.

El 21 de diciembre de 2012, el Secretario General de las Naciones Unidas, en su calidad de depositario, distribuyó la enmienda a todas las Partes en el Protocolo de Kyoto de conformidad con los artículos 20 y 21 del Protocolo. (UNFCCC, 2021).

Protocolo de Montreal:

El objetivo principal es la protección de la capa de ozono mediante la toma de medidas para controlar la producción total mundial y el consumo de sustancias que la agotan, con el objetivo final de eliminarlas, sobre la base del progreso de los conocimientos científicos e información tecnológica.

El Protocolo de Montreal se estructura en torno a varios grupos de sustancias destructoras del ozono. Los grupos de sustancias químicas se clasifican de acuerdo con la familia química y se enumeran en los anexos al texto del Protocolo de Montreal. Exige el control de casi 100 sustancias químicas en varias categorías. Para cada grupo o anexo de sustancias químicas, el Tratado establece un calendario para la eliminación gradual de la producción y el consumo de esas sustancias, con el objetivo de eventualmente eliminarlas por completo.

El calendario establecido por el Protocolo se aplica al consumo de sustancias destructoras del ozono. El consumo se define como las cantidades producidas, más importadas, menos las cantidades exportadas en un año determinado. También existe una deducción por la destrucción verificada. Las reducciones porcentuales se refieren al año

designado como referencia para la sustancia. El Protocolo no prohíbe el uso de sustancias controladas o recicladas existentes más allá de las fechas de eliminación.

Hay algunas excepciones para usos esenciales cuando no se encuentren sustitutos aceptables, por ejemplo, en los inhaladores de dosis medidas (IDM) comúnmente utilizados para tratar el asma y otros problemas respiratorios o sistemas de supresión de incendios de halón utilizados en los submarinos y aviones.

En 1994, la Asamblea General de Naciones Unidas proclamó el 16 de septiembre Día Internacional de la Preservación de la Capa de Ozono, en conmemoración de la fecha de la firma, en 1987, del Protocolo de Montreal sobre sustancias que dañan la capa de ozono (resolución 49/114).

Aplicación del Protocolo de Montreal:

La aplicación del Protocolo de Montreal ha progresado bien en los países desarrollados y países en desarrollo. Todos los calendarios de eliminación se han respetado en la mayoría de los casos, algunos incluso antes de lo previsto. En vista del progreso constante realizado en el marco del Protocolo, ya en 2003, ex Secretario General Kofi Annan declaró: "Tal vez el acuerdo internacional más exitoso hasta la fecha ha sido el Protocolo de Montreal". Sus puntos de vista son compartidos ampliamente en la comunidad internacional.

La atención se centró inicialmente en los productos químicos con mayor potencial de agotamiento del ozono, incluidos los CFC y halones. El calendario de eliminación de los HCFC era más relajado, debido a su menor potencial de agotamiento de la capa de ozono y porque también se han utilizado como sustitutos de transición de los CFC. El calendario de eliminación de los HCFC se creó en 1992 para los países desarrollados y países en desarrollo, este último con una congelación en 2015, con eliminación completa en 2030 en los países desarrollados y en 2040 en los países en desarrollo. En 2007, las Partes en el Protocolo decidieron acelerar el calendario de eliminación de los HCFC para los países tanto desarrollados como en desarrollo. (NU, 2021)

Nairobi, 3 de enero de 2019 – La Enmienda de Kigali al Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono entró en vigor el 1 de enero de 2019, un paso importante en los esfuerzos para reducir drásticamente los gases de efecto invernadero

y limitar el calentamiento global. Con su plena implementación, la Enmienda Kigali puede evitar hasta 0,4 °C de calentamiento global a fines de este siglo mientras se continúa protegiendo la capa de ozono. En ese sentido, la enmienda contribuirá sustancialmente a los objetivos del Acuerdo de París.

El acuerdo contempla que durante los próximos 30 años se reducirá en más de 80% la producción y el consumo proyectados de hidrofluorocarbonos (HFC), compuestos orgánicos utilizados frecuentemente en acondicionadores de aire y otros dispositivos como refrigerantes alternativos a las sustancias que agotan la capa de ozono, reguladas por el Protocolo de Montreal. Si bien los HFC no amenazan la capa de ozono, son peligrosos gases de efecto invernadero con un potencial de calentamiento global que puede ser muchas veces mayor al del dióxido de carbono.

Las partes han establecido aspectos prácticos para la implementación de la enmienda, incluidos los acuerdos sobre tecnologías para la destrucción de HFC y los nuevos requisitos y herramientas para el reporte de datos. La enmienda incluye disposiciones para el desarrollo de capacidades en los países en desarrollo, el fortalecimiento institucional y el desarrollo de estrategias nacionales para reducir los HFC y reemplazarlos con alternativas.

La reducción gradual de los HFC en virtud de la Enmienda Kigali también puede abrir una ventana para rediseñar equipos de refrigeración que sean más eficientes energéticamente, lo que favorecería aún más la acción climática. La implementación de los objetivos establecidos en la enmienda se realizará en tres fases: un grupo de países desarrollados iniciará la eliminación gradual de HFC a partir de 2019; los países en desarrollo alcanzarán una congelación de los niveles de consumo de HFC para 2024 y un grupo menor de países congelará el consumo para 2028.

La Enmienda Kigali, ratificada hasta ahora por 65 países, se basa en el legado histórico del Protocolo de Montreal acordado en 1987. El Protocolo y sus enmiendas anteriores, que requieren la eliminación gradual de la producción y el consumo de sustancias que agotan la capa de ozono, han sido universalmente ratificadas por 197 partes. (ONU, 2021)

Acuerdo de París:

El objetivo central del Acuerdo de París es reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático manteniendo el aumento de la temperatura mundial en este siglo muy por debajo de los 2 grados centígrados por encima de los niveles preindustriales y proseguir los esfuerzos para limitar aún más el aumento de la temperatura a 1,5 grados centígrados.

Además, el acuerdo tiene por objeto aumentar la capacidad de los países para hacer frente a los efectos del cambio climático y lograr que las corrientes de financiación sean coherentes con un nivel bajo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y una trayectoria resistente al clima. Para alcanzar estos ambiciosos objetivos, es preciso establecer un marco tecnológico nuevo y mejorar el fomento de la capacidad, con el fin de apoyar las medidas que adopten los países en desarrollo y los países más vulnerables, en consonancia con sus propios objetivos nacionales, y movilizar y proporcionar los recursos financieros necesarios. El Acuerdo también prevé un marco mejorado de transparencia para la acción y el apoyo.

El Acuerdo de París exige a todas las partes que hagan todo lo que esté en su mano por medio de contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC por sus siglas en inglés) y que redoblen sus esfuerzos en los próximos años. Esto incluye la obligación de que todas las Partes informen periódicamente sobre sus emisiones y sobre sus esfuerzos de aplicación. También habrá un inventario mundial cada cinco años para evaluar el progreso colectivo hacia el logro del propósito del acuerdo, y para informar sobre nuevas medidas individuales de las Partes.

El Acuerdo de París quedó abierto a la firma el 22 de abril de 2016 – Día de la Tierra – en la sede de las Naciones Unidas en Nueva York. Entró en vigor el 4 de noviembre de 2016, 30 días después de que se cumpliera el llamado “doble criterio” (ratificación por 55 países que representan al menos el 55 % de las emisiones mundiales). Desde entonces, más países han ratificado y siguen ratificando el Acuerdo, y alcanzan un total de 125 Partes a principios de 2017. Dicho acuerdo, adoptado mediante la decisión 1/CP.21, aborda áreas cruciales necesarias para combatir el cambio climático.

A continuación, se exponen algunos de los aspectos clave del Acuerdo de París:

- **Objetivo a largo plazo referente a la temperatura** (artículo 2) – El Acuerdo de París, al tratar de fortalecer la respuesta mundial al cambio climático, reafirma el objetivo de limitar el aumento de la temperatura mundial muy por debajo de los 2 grados centígrados, al tiempo que prosiguen los esfuerzos para limitarlo a 1,5 grados.
- **Punto máximo y neutralidad climática** (artículo 4) – Para alcanzar este objetivo de temperatura, las Partes se proponen alcanzar cuanto antes el punto máximo de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel mundial y a reconocer que ese punto máximo llevará más tiempo a las Partes que son países en desarrollo con el fin de lograr un equilibrio entre las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción por los sumideros de GEI en la segunda mitad del siglo.
- **Mitigación** (artículo 4) – El Acuerdo de París establece compromisos vinculantes de todas las Partes para preparar, comunicar y mantener una contribución determinada a nivel nacional (NDC por sus siglas en inglés) y aplicar medidas nacionales para lograrlos. También establece que las Partes comunicarán sus contribuciones determinadas a nivel nacional cada cinco años y proporcionarán la información necesaria para la claridad y la transparencia. Para establecer una base firme para una mayor ambición, cada contribución determinada a nivel nacional sucesiva representará una progresión más allá de la anterior, y reflejará la mayor ambición posible. Los países desarrollados deberían seguir asumiendo el liderazgo mediante el establecimiento de objetivos de reducción absolutos para toda la economía, mientras que los países en desarrollo deberían seguir intensificando sus esfuerzos de mitigación, mientras se les alienta a avanzar hacia la consecución de los objetivos para toda la economía a lo largo del tiempo, a la luz de las diferentes circunstancias nacionales.
- **Sumideros y depósitos** (artículo 5) – El Acuerdo de París también alienta a las Partes a conservar y mejorar, según proceda, los sumideros y depósitos de

GEI a que se hace referencia en el apartado d) del párrafo 1 del artículo 4 de la Convención, incluidos los bosques.

- **Participación voluntaria / Enfoques relacionados y no relacionados con el mercado** (artículo 6) – El Acuerdo de París reconoce la posibilidad de participación voluntaria entre las Partes para permitir una mayor ambición y establece principios -incluidos la integridad ambiental, la transparencia y una contabilidad sólida- para cualquier cooperación que implique la transferencia internacional de los resultados de la mitigación. Establece un mecanismo para contribuir a la mitigación de las emisiones de GEI y apoyar el desarrollo sostenible y define un marco para los enfoques no mercantiles del desarrollo sostenible.
- **Adaptación** (artículo 7) – El Acuerdo de París establece un objetivo mundial sobre la adaptación, a saber, el aumento de la capacidad de adaptación, el fortalecimiento de la resiliencia y la reducción de la vulnerabilidad al cambio climático en el contexto del objetivo de temperatura del Acuerdo. Su objetivo es fortalecer significativamente los esfuerzos nacionales de adaptación, incluso mediante el apoyo y la cooperación internacional. El Acuerdo reconoce que la adaptación es un reto mundial al que se enfrentan todos. Todas las Partes deberían dedicarse a la adaptación, incluso mediante la formulación y aplicación de planes nacionales de adaptación, y deberían presentar y actualizar periódicamente una comunicación de adaptación en la que se describan sus prioridades, necesidades, planes y medidas. Deben reconocerse los esfuerzos de adaptación de los países en desarrollo.
- **Pérdidas y daños** (artículo 8) – En el Acuerdo de París se reconoce la importancia de evitar, reducir al mínimo y hacer frente a las pérdidas y los daños relacionados con los efectos adversos del cambio climático, incluidos los fenómenos meteorológicos extremos y los fenómenos de evolución lenta, y la contribución del desarrollo sostenible a la reducción del riesgo de pérdidas y daños. Las Partes deberían reforzar la comprensión, las medidas y el apoyo, incluso a través del Mecanismo Internacional de Varsovia para las Pérdidas y

los Daños, de manera cooperativa y facilitativa con respecto a las pérdidas y los daños relacionados con los efectos adversos del cambio climático.

- **Recursos financieros, tecnológicos y para el fomento de la capacidad** (artículos 9, 10 y 11) – El Acuerdo de París reafirma las obligaciones de los países desarrollados de apoyar los esfuerzos de las Partes que son países en desarrollo para construir un futuro limpio y resistente al clima, al tiempo que alienta por primera vez a otras Partes a que presten o sigan prestando ese apoyo de manera voluntaria. El suministro de recursos también debe tener por objeto lograr un equilibrio entre la adaptación y la mitigación. Además de informar sobre la financiación ya proporcionada, las Partes que son países desarrollados se comprometen a proporcionar bienalmente información transparente e indicativa sobre el apoyo futuro para las partes que son países en desarrollo, incluidos los niveles previstos de financiación pública. El acuerdo también establece que el Mecanismo Financiero de la Convención, incluido el Fondo Verde del Clima (GCF), servirá al Acuerdo. También se fortalece la cooperación internacional en materia de desarrollo y transferencia de tecnología para el clima y de fomento de la capacidad en el mundo en desarrollo: se establece un marco tecnológico en el marco del Acuerdo y se fortalecerán las actividades de fomento de la capacidad mediante, entre otras cosas, un mayor apoyo a las medidas de fomento de la capacidad en las Partes que son países en desarrollo y los acuerdos institucionales necesarios. La educación y la formación sobre el cambio climático, así como la sensibilización, la participación y el acceso a la información (artículo 12) también deben reforzarse en el marco del Acuerdo.
- **La educación, la formación, la sensibilización y participación del público y el acceso público a la información sobre el cambio climático** (artículo 12) también deberán reforzarse en el marco del Acuerdo.
- **Transparencia** (artículo 14), **implementación y cumplimiento** (artículo 15) – El Acuerdo de París se basa en un sólido sistema de transparencia y contabilidad para proporcionar claridad sobre las medidas y el apoyo de las

Partes, con flexibilidad para las diferentes capacidades de las Partes. Además de presentar información sobre mitigación, adaptación y apoyo, el Acuerdo exige que la información presentada por cada Parte se someta a un examen internacional de expertos técnicos. El Acuerdo también incluye un mecanismo que facilitará la aplicación y promoverá el cumplimiento de manera no contenciosa y no punitiva, e informará anualmente a la CP/RA.

- **Balance mundial** (artículo 14) - Un "balance mundial", que tendrá lugar en 2023 y cada cinco años a partir de entonces, evaluará el progreso colectivo hacia el logro de los objetivos del Acuerdo de una manera global y facilitadora. Se basará en la mejor ciencia disponible y en su objetivo mundial a largo plazo. Su resultado servirá de base para que las Partes actualicen y mejoren sus medidas y apoyen y aumenten la cooperación internacional en la lucha contra el cambio climático.
- **Decisión 1/CP.21** – Esta decisión también establece una serie de medidas para mejorar la acción antes de 2020, incluido el fortalecimiento del proceso de examen técnico, la mejora de la provisión de fondos urgentes, tecnología y apoyo, y medidas para fortalecer la participación de alto nivel. Para 2018 está previsto un diálogo con fines de facilitación para hacer balance del progreso colectivo hacia el objetivo de reducción de emisiones a largo plazo del artículo 4. La decisión también acoge con beneplácito los esfuerzos de todos los interesados que no son Partes para hacer frente al cambio climático y responder a él, incluidos los de la sociedad civil, el sector privado, las instituciones financieras, las ciudades y otras autoridades subnacionales. Estas partes interesadas están invitadas a intensificar sus esfuerzos y a mostrarlos a través de la plataforma de la acción mundial sobre el clima para actores no estatales (<http://climateaction.unfccc.int>). Las Partes también reconocieron la necesidad de fortalecer los conocimientos, las tecnologías, las prácticas y los esfuerzos de las comunidades locales y los pueblos indígenas, así como la importante función de ofrecer incentivos mediante instrumentos como las

políticas nacionales y la fijación de precios del carbono. Fuente: (UNFCCC, 2021).

Norma ISO 7730:2005

Esta normativa internacional aborda la evaluación de los ambientes térmicos moderados, ha sido desarrollada en paralelo con la revisión de la norma 55 de ASHRAE, y forma parte de una serie de documentos que especifican métodos para la medida y evaluación de los ambientes térmicos moderados y extremos a los que los seres humanos están expuestos. La sensación térmica experimentada por un humano está relacionada, principalmente, con el equilibrio térmico global del cuerpo. Tal equilibrio depende de la actividad física y de la vestimenta del sujeto, así como de los parámetros ambientales: temperatura del aire, temperatura radiante media, velocidad del aire y humedad del aire. Si factores han sido estimados o medidos, la sensación térmica global del cuerpo puede ser estimada mediante el cálculo del Voto Medio Estimado (PMV, Predicted mean vote).

El índice de Porcentaje estimado de Insatisfechos (PPD, Predicted percentage dissatisfied), suministra información acerca de la incomodidad o insatisfacción térmica, mediante la predicción del porcentaje de personas que, probablemente, sentirán demasiado calor o demasiado frío en un ambiente determinado. El PPD puede obtenerse a partir del PVM. Fuente: (UNE, 2021)

ECA-MC-MA-P08

Se establece que se deben de cumplir rangos de eficiencia de los aires acondicionados que deben ser mayores en 2 unidades de los indicados por la Relación de Eficiencia Energética (REE), establecidos en la norma INTE-28-01-13 en su versión vigente. El proveedor debe aportar una Certificación de producto emitida por un organismo de certificación de producto acreditado o reconocido por el ECA en la norma ISO/IEC 17065 en su versión vigente, que indique los productos son conformes con la Directriz No 11 del MINAE.

El ISO/IEC 17065:2012 tiene como objetivo general de la certificación de productos, procesos o servicios es proporcionar confianza a todas las partes interesadas en que un producto, proceso o servicio cumple los requisitos especificados. El valor de la certificación es el grado de confianza que se establece mediante una demostración imparcial y competente por una tercera parte del cumplimiento de los requisitos especificados. Las partes que tienen un interés en la certificación incluyen, entre otras:

1. los clientes de los organismos de certificación;
2. los clientes de las organizaciones cuyos productos, procesos o servicios están certificados;
3. las autoridades gubernamentales;
4. las organizaciones no gubernamentales; y
5. los consumidores y el público en general.

Norma INTE 28-01-13:2014

Eficiencia energética - Acondicionadores de aire tipo ventana, dividido y paquete - Rangos de eficiencia energética.

- La Relación de Eficiencia Energética (EER en inglés) indica cuantos kW térmicos (frío) nos dará el equipo por cada kW eléctrico que consuma.
- Entre mayor sea el valor del EER más eficiente es el equipo.

$$EER = (1.12 \times SEER) - (SEER \times 0.02)$$

Ecuación 1. Eficiencia Energética. (ICE, 2017).

Directriz N° 11 – MINAE

Dirigida a los jefes de todas las instituciones de la administración pública, incluyendo aquellos órganos, entes, empresas e instituciones del sector público centralizado, descentralizado institucional y territorial, mediante la cual se establece la prohibición de adquirir equipos, luminarias y artefactos de baja eficiencia que provoquen alto consumo de electricidad para ser utilizados en los edificios e instalaciones de tránsito peatonal que ocupe el sector público.

BTU/h	Paquete	Split (dividido)
Menor 24.000	NA	14,2
Entre 24.000 y 36.000	13	14,2
Entre 36.000 y 60.000	13	13,5

Tabla 4. Niveles Mínimos - REE. (ICE, 2017).

Directriz N° 17 – MINAET

En uso de las facultades que les confiere los artículos 50, 130, 140 incisos 3), 8) y 18), 146 y 188 de la Constitución Política, la Ley de Planificación Nacional, N° 5525 del 2 de mayo de 1974; la Ley Orgánica del Ambiente, N° 7554 del 4 de octubre de 1995; la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, N° 7414 del 13 de junio de 1994; los artículos 1° y 2° de la Ley de Conversión del Ministerio de Industria, Energía y Minas (MIEM) en Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas (MIRENEM), N° 7152 del 5 de junio de 1990; los artículos 26, 27, 99 y 100 de la Ley General de la Administración Pública, N° 6227 del 2 de mayo de 1978; el Decreto Ejecutivo N° 34582-MP-PLAN de 4 de junio del 2008, Reglamento Orgánico del Poder Ejecutivo; la Ley de Fortalecimiento y Modernización de las Entidades Públicas del Sector Telecomunicaciones, N° 8660 del 8 de agosto del 2008; el Decreto Ejecutivo N° 35991-MINAET de 19 de enero de 2010, Reglamento de Organización del Subsector Energía y el Decreto Ejecutivo No. 36499-MINAET-MS, Reglamento para la elaboración de Programas de Gestión Ambiental Institucional en el Sector Público de Costa Rica.

Se elaboran los siguientes artículos:

Artículo 1°—Elaborar un Plan de Eficiencia Energética institucional, de conformidad con los instrumentos, mecanismos, procedimientos, guías y plantillas establecidos para el componente estratégico de Gestión de la Energía dentro del Programa de

Gestión Ambiental Institucional (PGAI), regulados en el Decreto Ejecutivo 36499-MINAET-MS, que norma la gestión de calidad ambiental, energía y cambio climático que deben realizar todos los integrantes del Sector Público; por lo que el cumplimiento del Plan de Eficiencia Energética se llevará a cabo a través de lo establecido en dicho Decreto.

Artículo 2º—En la elaboración del Plan de Eficiencia Energética se incorporarán acciones inmediatas y de mediano plazo, tales como:

1. Acciones Inmediatas:

- Medidas de ahorro en diferentes usos de energía como: la iluminación, aires acondicionados, equipos de cómputo, el uso de transporte y otros.
- Comunicar los lineamientos obligatorios sobre el uso racional de la energía y sensibilizar a los funcionarios en el tema.
- Realizar evaluaciones permanentes del consumo energético en equipos, sistemas y transporte de la institución.
- Ejecutar en forma permanente, programas de mantenimiento correctivo y preventivo en su flota vehicular, equipos consumidores de electricidad e instalaciones eléctricas.
- Incluir en sus compras, los lineamientos de compras sustentables y compras verdes.
- Otros a conveniencia de las instituciones enfocadas a la eficiencia energética.

2. Acciones de mediano plazo:

- Definir y ejecutar gradualmente, en los diferentes usos de la energía, un programa de sustitución de las tecnologías obsoletas por tecnologías eficientes.

Artículo 3º—El Plan de Eficiencia Energética formará parte del Programa de Gestión Ambiental Institucional que están obligados a presentar todos los integrantes del

Sector Público dentro del plazo establecido en el Decreto Ejecutivo 36499-MINAET-MS.

Artículo 4°—El Plan de Eficiencia Energética deberá presentarse a la Dirección de Gestión de Calidad Ambiental (DIGECA) del Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones a más tardar en los 45 días naturales siguientes a la publicación de esta Directriz.

Artículo 5°—Las instituciones integrantes del Subsector Energía orientarán y apoyarán a las entidades del Sector Público, en el desarrollo de sus planes de eficiencia energética.

Artículo 6°—Esta Directriz tiene una vigencia de un año contado a partir de su publicación, considerando que para esa fecha debe estarse implementando el Programa de Gestión Ambiental Institucional.

Artículo 7°—Rige a partir de su publicación. Dado en la Presidencia de la República.—San José, a los veintinueve días del mes de abril del dos mil once. (DIGECA, 2015).

Ley N°7223

Emitida el 08 de mayo del año 1991, y publicada en la Gaceta N° 86.

La misma se establece para la Aprobación del Protocolo de Montreal, relativo a las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono.

Decretan lo siguiente:

Incorporar el anexo D del Protocolo de Montreal

Artículo 1°-Aprobar la incorporación del Anexo D del Protocolo de Montreal, citado a continuación:

Anexo D*:Lista de productos** que contienen sustancias controladas especificadas en el anexo A.

1. Equipos de aire acondicionado en automóviles y camiones (estén o no incorporados a los vehículos).
2. Equipos de refrigeración y aire acondicionado/bombas de calor domésticos y comerciales.

- Refrigeradoras.
 - Congeladores.
 - Deshumificadores.
 - Enfriadores de agua.
 - Máquinas productoras de hielo.
 - Equipos de aire acondicionado y bombas de calor.
3. Productos en aerosol, salvo productos médicos en aerosol.
 4. Extintores portátiles.
 5. Planchas, tableros y cubiertas de tuberías aislantes.
 6. Prepolímeros.

* Este anexo fue aprobado por la Tercera Reunión de las Partes, celebrada en Nairobi del 19 al 21 de junio de 1991, de conformidad con el párrafo 3 del artículo 4 del Protocolo.

** Excepto cuando se transportan en expediciones de efectos personales o domésticos, o en situaciones similares sin carácter comercial normalmente eximidas de trámite aduanero.

*** Cuando contienen sustancias controladas especificadas en el anexo A, tales como refrigerantes y/o materiales aislantes del producto.

Artículo 2º-Rige a partir de su publicación. (SCIJ, 2021).

Ley N°8219

Oficializa la norma "Sistema de Gestión para demostrar la C-neutralidad. Requisitos":

Artículo 1º-Se establece oficialmente como la Norma nacional "Sistema de Gestión para demostrar la C-Neutralidad. Requisitos" INTE 12-01-06:2011, bajo la rectoría del Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones.

Artículo 2º-Con base en los criterios y lineamientos establecidos en la Norma nacional "Sistema de Gestión para demostrar la C-Neutralidad. Requisitos" INTE 12-01-06:2011, se promoverán las certificaciones emitidas por organismos de

certificación de tercera parte, acreditados por el Ente Costarricense de Acreditación. Tales certificaciones serán utilizadas para el otorgamiento de la marca C-Neutral.

Artículo 3°-Se establece la Junta de Carbono, como instancia ejecutiva garante del cumplimiento de los criterios y procedimientos que se establezcan relacionados con el mercado local de carbono.

Artículo 4°-Se establece el Registro Nacional de Emisiones, Reducciones y Compensaciones de Gases de Efecto invernadero, llamado "Registro Nacional de Emisiones de C-neutralidad", como instancia de la Dirección de Cambio Climático encargada de llevar los registros, la renovación de datos anuales y la promoción del sistema oficial por medio de un registro electrónico que promueva la eficiencia y transparencia en el mercado a través de compartir información pública y proteger contra la doble contabilidad dentro del Mercado Nacional de Carbono.

Artículo 5°-El Registro Nacional de Emisiones, Reducciones y Compensaciones de Gases de Efecto Invernadero, tendrá las siguientes funciones:

- a. Inscribir los registros voluntarios.
- b. Desarrollar los registros de las emisiones, reducciones y compensaciones del mercado de carbono.
- c. Desarrollar las estadísticas sobre las emisiones, reducciones y compensaciones.
- d. Asegurar la trazabilidad y seguimiento electrónico de las transacciones con el fin de que no exista la doble contabilidad dentro del mercado nacional.
- e. Promover el sistema de registro oficial.
- f. Desarrollar un marco metodológico mínimo aceptable para la generación de las Unidades Costarricenses de Compensación (UCCs).
- g. Otorgar el certificado de la marca C-Neutral.

Artículo 6°-La marca C-Neutral inscrita por el gobierno de Costa Rica será otorgada por el Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones a aquellas organizaciones que cumplan con los requisitos específicos para este caso definidos por medio de una resolución administrativa posterior y que demuestren conformidad con la "Norma nacional "Sistema de Gestión para demostrar la C-Neutralidad. Requisitos" INTE 12-01-06:2011" mediante la presentación de certificaciones emitidas por organismos de certificación de tercera parte acreditados por el Ente

Costarricense de Acreditación, para el caso de otorgamiento de la marca C Neutral para producto, se deberán cumplir los requisitos específicos definidos en resolución administrativa posterior. (SCIJ, 2021).

Ley N°9405

Creación del Consejo Científico de Cambio Climático.

Decretan:

Artículo 1. Créase el Consejo Científico de Cambio Climático (en adelante 4C), como un órgano independiente, de carácter consultivo, conformado por académicos, investigadores y expertos para asesorar al Gobierno de Costa Rica en materia de investigación científica y desarrollo tecnológico en el área del cambio climático. Este Consejo estará adscrito a la Dirección de Cambio Climático del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE)

Artículo 2. El Consejo preparará los informes que le solicite el ministro del MINAE sobre los temas que éste considere necesarios y podrá también manifestarse de forma voluntaria sobre aquellos asuntos relevantes al fin para el que fue creado.

Artículo 3. El Consejo estará compuesto por ocho académicos, investigadores y expertos en cambio climático, sus causas, implicaciones y efectos. Los mismos podrán ser nacionales o extranjeros. Los miembros del Consejo serán designados por el Ministro de Ambiente y Energía, en virtud de sus atestados. Los miembros del Consejo participan ad honorem y en carácter personal, independientemente de su afiliación institucional.

Artículo 4. Se procurará que el Consejo mantenga una representación paritaria de género, así como la inclusión de científicos jóvenes.

Artículo 5. El Consejo tendrá un plenario compuesto por todos sus miembros y una Presidencia. La Presidencia será elegida por los mismos miembros del plenario. La Presidencia del Consejo tendrá la vocería del Consejo, presidirá las reuniones u otras actividades organizadas por el Consejo. El Presidente será el depositario de los archivos de las minutas y correspondencia del Consejo.

Artículo 6. El Consejo podrá invitar a sus sesiones a técnicos de las instituciones públicas, así como otros expertos vinculados al cambio climático. Además, podrá instituir grupos de trabajo para la atención de temas puntuales propios del fin para el que fue creado.

Artículo 7. Si el Plenario del Consejo lo considera necesario podrá nombrar un secretario asistente del Presidente para preparar la memoria de las reuniones y llevar el control de acuerdos. Las memorias y el control de acuerdos serán presentadas por el Presidente al Plenario del Consejo para su aprobación en cada reunión.

Artículo 8. El Consejo Científico de Cambio Climático podrá establecer internamente un estatuto que le facilite normar procedimientos y mecanismos a su interior. En el mismo podrá contemplar los mecanismos de ingreso y de salida de su membresía, así como esquemas de revocatoria y nulidad, mecanismos de quorum, elección y votación, el mecanismo para dar seguimiento y monitoreo de acuerdos; así como otros aspectos relevantes para el cumplimiento de los fines para los que el Consejo fue establecido.

Artículo 9. El Ministro de Ambiente y Energía designará mediante oficio a los miembros del consejo científico en virtud de sus méritos y atestados por un plazo de tres años, prorrogables por igual plazo. El oficio en el que se designe a miembros del 4C deberá dejar constancia de los atestados y atributos de cada miembro.

Artículo 10. El Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, dará apoyo logístico y secretarial para la conformación y operación del 4C, a través de uno de sus proyectos, por un plazo de dos años.

Artículo 11. Rige a partir de su publicación en el Diario Oficial La Gaceta

Dado en la Presidencia de la República. - San José, el siete de agosto del año dos mil diecisiete. (SCIJ, 2021).

Leyes importantes

Ley de los gases ideales:

Bajo ciertas condiciones, la presión, el volumen y la temperatura de los gases se relacionan por una ecuación que se llama la ley del gas ideal o ley de los gases perfectos. El aire a las temperaturas y presiones que se manejan en el acondicionamiento de aire siguen esta ecuación.

1. Sistema inglés.

$$pV = mRT$$

Ecuación 2. Ley de gases ideales. (Sistema Inglés).

Donde,

- p= presión del gas, lb/ft² absolutas
- V= volumen del gas, ft³
- m= peso del gas, lb
- R= la constante del gas
- T= temperatura absoluta, grados Rankine (°R)

• Sistema internacional.

$$pV = nRT$$

Ecuación 3. Ley de gases ideales. (Sistema Internacional).

Donde,

- p= presión del gas, Pa (N/m²) absolutas
- V= volumen del gas, m³
- n= peso del gas, mol
- R= la constante del gas
- T= temperatura absoluta, Kelvin (K)

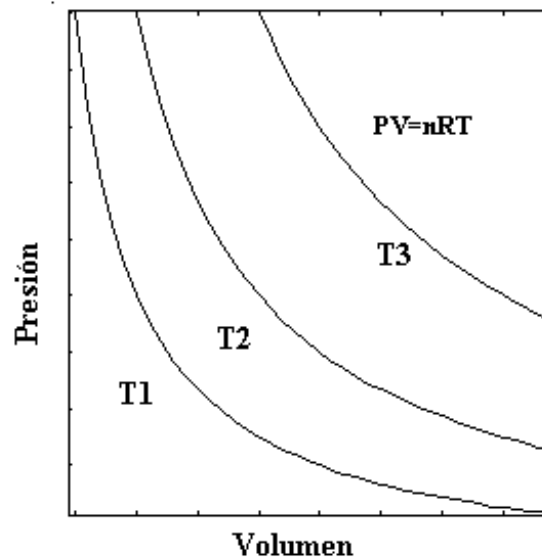


Figura 1. P en función de V para diversas temperaturas (T) Fuente: (Martín, 2006)

Leyes de la termodinámica:

1. Primera Ley de la Termodinámica:

“Esta ley también recibe el nombre de conservación de la energía. El balance de energía se enuncia como sigue:

Un cambio de la energía total (cinética, potencial e interna) es igual al trabajo realizado en la masa de control más el calor transferido a dicha masa.” (Howell, 1990)

FALTA EL NÚMERO DE PÁGINA

Matemáticamente, lo anterior se expresa como:

$$dE = \delta Q + \delta W$$

Ecuación 4. Conservación de signos. (Howell y Buckius, 1990).

La convención de signos indica que toda la energía transferida hacia el sistema es positiva (Figura 2). No hay referencia a ninguna trayectoria en particular. Por tanto, el cambio de la energía de la masa de control entre el estado 1 y el estado 2 es igual al calor transferido

a la masa de control siguiendo cualquier trayectoria más el trabajo realizado sobre dicha masa, de nuevo, a lo largo de cualquier trayectoria. (Howell, 1990).



Figura 2. Transferencia hacia el sistema. (<https://www.fisicalab.com>).

La ecuación 3, se integra entre esos dos estados y se obtiene:

$$E_2 - E_1 = Q_2 + W_2$$

Ecuación 5. Integración entre los dos estados. (Howell, 1990).

La energía total que contiene la masa de control es la suma de las contribuciones de todos los elementos, por lo que la energía total se representa mediante la integral sobre toda la masa y se expresa por:

$$E = \int_m e \, dm$$

Ecuación 6. Integral sobre toda la masa. (Howell, 1990).

Con la densidad y volumen específico, se puede transformar una integral de volumen:

$$E = \int_V e \rho \, dV = \int_V e \frac{dV}{v}$$

Ecuación 7. Densidad y volumen específico. (Howell, 1990).

De esta forma, la expresión final es:

$$d\left(\int_V ep \, dV\right) = \delta Q + \delta W$$

Ecuación 8. Representación final de la ecuación. (Howell, 1990).

La energía total en cualquiera de las ecuaciones anteriores es la suma de las energías interna, cinética y potencial; expresando esto explícitamente se obtiene:

$$dCJ + d(EC) + d(EP) = \delta Q + \delta W$$

Ecuación 9. Suma de las diferentes energías. (Howell, 1990).

La integración entre los estados 1 y 2 da:

$$(U + EC + EP)_2 - (U + EC + EP)_1 = Q_2 + W_2$$

Ecuación 10. Suma de las diferentes energías integrando los estados 1 y 2. (Howell, 1990).

Cuando se sustituyen las expresiones de las energías cinética y potencial se obtiene la conservación de la energía como:

$$\left(U + \frac{1}{2}m \cdot \frac{v^2}{gc} + \frac{mgZ}{gc}\right)_2 - \left(U + \frac{1}{2}m \cdot \frac{v^2}{gc} + \frac{mgZ}{gc}\right)_1 = Q_2 + W_2$$

Ecuación 11. Ecuación final, sustituyendo las energías cinética y potencial. (Howell, 1990).

Si la masa contenida por el volumen de la masa de control se distribuye uniformemente en el espacio, existe la opción de expresar las ecuaciones anteriores en una base específica o por unidad de masa, pero la masa es constante para una masa de control.

Considerando las expresiones para las energías interna, cinética y potencial, finalmente se escribe:

$$\left(U + \frac{1}{2} \cdot \frac{v^2}{gc} + \frac{gZ}{gc} \right)_2 - \left(U + \frac{1}{2} \cdot \frac{v^2}{gc} + \frac{gZ}{gc} \right)_1 = q_2 + w_2$$

Ecuación 12. Ecuación final, sustituyendo las energías cinética y potencial por unidad de masa. (Howell, 1990).

Al igual que en la “ecuación 10”, el lado izquierdo de la “ecuación 11” es la integral de una diferencial exacta que representa el cambio de las propiedades en una masa de control. Este cambio de la energía total es independiente de la trayectoria seguida entre los estados. El lado derecho de estas ecuaciones corresponde a integrales de diferenciales inexactas y, generalmente, son función de una trayectoria en particular.

2. Segunda Ley de la Termodinámica:

El desorden microscópico de un sistema queda descrito por una propiedad del sistema llamada entropía. Los ejemplos anteriores indican que, en un sistema aislado, después de quitar las restricciones internas, se presentan procesos que no son cuantificados por la primera ley. Estos hechos se combinan en el enunciado de la segunda ley de la termodinámica:

La entropía S , una propiedad extensiva del equilibrio, siempre debe aumentar o permanecer constante en un sistema aislado. (Howell, 1990)

Esto se expresa matemáticamente como:

$$dS_{\text{aislado}} \geq 0 \text{ ó } (S_{\text{final}} - S_{\text{inicial}})_{\text{aislado}} \geq 0$$

Ecuación 13. Entropía. (Howell, 1990).

La entropía, al igual que las otras propiedades termodinámicas, solo está definida para los estados en equilibrio o para procesos casi en equilibrio. La “ecuación 12” muestra que la entropía al estado final nunca es menor a la del estado inicial para cualquier proceso que tenga lugar en un sistema aislado. El estado final tiene el valor más grande de la entropía en

un sistema completamente aislado. Por lo tanto, un sistema compuesto por subsistemas tiende hacia el estado que incrementa a la entropía total del sistema compuesto o aislado. Esta es la entropía máxima posible sujeta a cualquier restricción que se le imponga. (Howell, 1990).

Es necesario desarrollar las expresiones para los cambios de la entropía en función de otras propiedades del sistema antes de aplicar la segunda ley, sin embargo, primero se requiere examinar algunas características de la entropía. La entropía es una propiedad extensiva del sistema, así pues, para cualquier sistema compuesto por subsistemas se expresa:

$$S = m_A S_A + m_B S_B + \dots = \sum_i m_i S_i$$

Ecuación 14. Sistemas compuestos por subsistemas. (Howell, 1990).

Donde s es la entropía específica o entropía por unidad de masa y el subíndice denota el subsistema. La segunda ley, expresada como la integral sobre todos los elementos del sistema aislado, queda:

$$dS_{\text{aislado}} = d\left(\int_m s \, dm\right)_{\text{aislado}} = d\left(\int_V p s \, dV\right)_{\text{aislado}} \geq 0$$

Ecuación 15. Segunda Ley Termodinámica expresada como integral en un sistema aislado. (Howell, 1990).

Esta propiedad está especificada por el estado del sistema o sirve para especificar dicho estado. Como se describió en el capítulo 3, por el postulado de estado para una sustancia simple compresible, la entropía queda completamente especificada mediante dos propiedades independientes del sistema; ahora bien, se puede emplear como una propiedad independiente, combinada con cualquier otra propiedad, para especificar todas las otras propiedades. La entropía es una medida del desorden molecular de una sustancia. Los valores grandes de la entropía implican un mayor desorden o incertidumbre, en tanto que los valores bajos corresponden a estados más organizados microscópicamente. Las unidades de la entropía S son el kilo joule por Kelvin o el BTU por grado Rankine. (Howell, 1990)

Una diferencia clave entre la segunda ley y la primera ley reside en el signo de desigualdad. La primera ley especifica una relación directa entre la energía y la transferencia de energía, en tanto que la segunda ley indica solamente la dirección del cambio en el desorden molecular o incertidumbre. Una presentación opcional, aunque equivalente, bastante empleada consiste en definir el término de producción de entropía o generación de entropía S_{gen} y eliminar el signo de desigualdad:

$$(dS - \delta S_{gen})_{aislado} = 0 \text{ ó } (S_{final} - S_{gen} - S_{inicial})_{aislado} = 0$$

Ecuación 16. Generación de entropía. (Howell, 1990).

Aquí, δS_{gen} es la entropía generada durante un cambio en el estado del sistema y siempre es positiva o cero. δS_{gen} representa la “cantidad de la desigualdad” que define la segunda ley. El signo negativo que precede a la generación de entropía es necesario para reducir el cambio de entropía a cero. Como se demostrará en secciones subsecuentes, δS_{gen} es una función dependiente de la trayectoria o una diferencial inexacta, a diferencia de dS que representa el cambio de una propiedad y es independiente de la trayectoria, o sea es una diferencial exacta.

La segunda ley también se expresa con base en la rapidez del cambio cuando se consideran un intervalo de tiempo dt . En ese caso la ley queda:

$$\left. \frac{dS}{dt} \right|_{aislado} = \frac{d}{dt} \left(\int_V ps \, dV \right)_{aislado} \geq 0 \text{ ó } \left. \frac{dS}{dt} \right|_{aislado} - \dot{S}_{gen} = 0$$

Ecuación 17. Segunda ley de la termodinámica con base a la rapidez del cambio. (Howell, 1990).

Donde el punto de la parte superior \dot{S}_{gen} indica la rapidez de generación de la entropía.

Las expresiones anteriores son el punto de partida para posteriores consideraciones sobre la segunda ley. El cambio de entropía para una masa de control y para un volumen de control se desarrollarán a partir de un sistema aislado; pero antes de presentar esas expresiones es necesario estudiar el caso especial de la igualdad frente a la desigualdad en la

“ecuación 12” o generación nula de entropía frente a la generación finita de entropía en la “ecuación 15”. También se van a requerir las definiciones termodinámicas de la temperatura y de la presión.

3. Tercera Ley de la Termodinámica:

La tercera ley plantea que la entropía de un sistema que sea llevado al cero absoluto, será una constante definida. Dicho en otras palabras:

- Al llegar al cero absoluto (cero en unidades de Kelvin), los procesos de los sistemas físicos se detienen.
- Al llegar al cero absoluto (cero en unidades de Kelvin), la entropía posee un valor mínimo constante.

Resulta difícil alcanzar cotidianamente el llamado cero absoluto ($-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$), pero podemos pensar esta ley analizando lo que ocurre en un congelador: los alimentos que depositemos allí se enfriarán tanto, que se ralentizarán o incluso detendrán los procesos bioquímicos en su interior. Por eso se retarda su descomposición y será apto su consumo durante mucho más tiempo. (“Thermodynamics”, The Enciclopedia Britannica, s.f.).

4. Ley Cero de la Termodinámica:

Se conoce con este nombre, aunque fue la última en postularse; también conocida como Ley del Equilibrio Térmico, este principio dicta que: “Si dos sistemas están en equilibrio térmico de forma independiente con un tercer sistema, deben estar también en equilibrio térmico entre sí”. Puede expresarse lógicamente del siguiente modo: si $A = C$ y $B = C$, entonces $A = B$.

Esta ley nos permite comparar la energía térmica de tres cuerpos distintos A, B, y C. Si el cuerpo A se encuentra en equilibrio térmico con el cuerpo C (tienen la misma temperatura) y B también tiene la misma temperatura que C, entonces A y B poseen igual temperatura.

Otra forma de enunciar este principio es argumentar que al poner en contacto dos cuerpos con distintas temperaturas, intercambian calor hasta que sus temperaturas se igualan.

Los ejemplos cotidianos de esta ley son fáciles de hallar. Cuando nos metemos en agua fría o caliente, notaremos la diferencia de temperatura solo durante los primeros minutos ya que nuestro cuerpo luego entrará en equilibrio térmico con el agua y no notaremos más la diferencia. Lo mismo ocurre cuando entramos a una habitación calurosa o fría: notaremos la temperatura al principio, pero luego dejaremos de percibir la diferencia pues entraremos en equilibrio térmico con ella.

Carta psicométrica:

Son gráficos integrados por la familia de las curvas, las cuales se trazan a partir de cálculos de ecuaciones de estado. Estas ecuaciones relacionan características de la mezcla aire-vapor de agua.

Se muestra a continuación carta psicométrica:

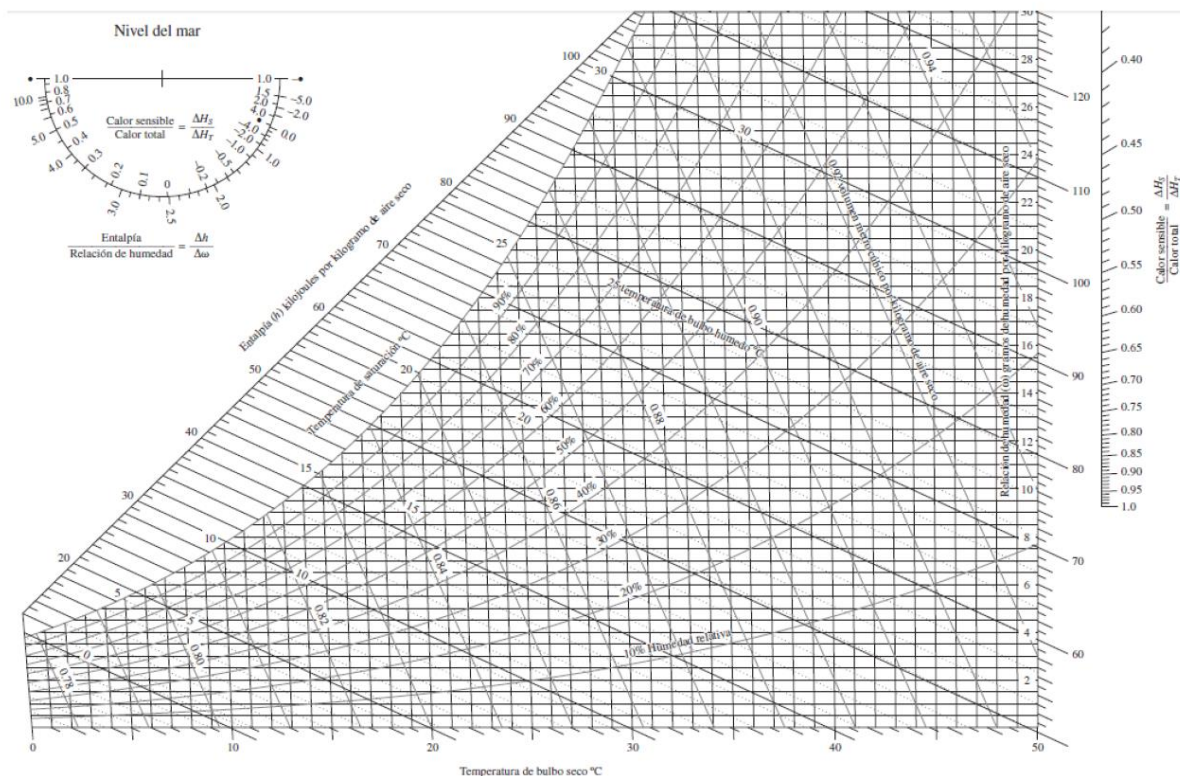


Figura 3. Carta Psicométrica. (Cengel, 2008).

Propiedades importantes extraídas de la tabla:

1. Temperatura de bulbo seco (bs).
2. Temperatura de bulbo húmedo (bh).
3. Temperatura de punto de rocío (pr).
4. Humedad relativa (hr).
5. Humedad absoluta (ha).
6. Entalpía (h).
7. Volumen específico.

Confort térmico:

El confort térmico se define en la Norma ISO 7730:2005 como “Esa condición de mente en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico”. **FALTA AUTOR, AÑO Y PÁGINA**. Esta definición podría ser acertada, pero a su vez es una definición que es difícil de trasladar a parámetros físicos.

Voto Medio Estimado (PMV, predicted mean vote)

El PMV es un índice que refleja el valor medio de los votos emitidos por un grupo numeroso de personas respecto de una escala de sensación térmica de 7 niveles, basado en el equilibrio térmico del cuerpo humano. El equilibrio térmico se obtiene cuando la producción interna de calor del cuerpo es igual a su pérdida hacia el ambiente. En un ambiente moderado, el sistema termorregulador tratará de modificar automáticamente la temperatura de la piel y la secreción de sudor para mantener el equilibrio térmico. (Fanger, 1973).

+ 3	Muy caluroso
+ 2	Caluroso
+ 1	Ligeramente caluroso

0	Neutro
- 1	Ligeramente fresco
- 2	Fresco
- 3	Frío

Tabla 5. Escala de sensación térmica de siete niveles. (UNE, 2021).

El valor de PMV se calcula empleando las siguientes ecuaciones:

$$PMV = [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot \left\{ \begin{array}{l} (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] \\ -1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) \\ -3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \end{array} \right\}$$

Ecuación 18. Ecuación N°1 del cálculo del PVM. (UNE, 2021).

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 \cdot (M - W) - I_{cl} \cdot \left\{ 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \right\}$$

Ecuación 19. Ecuación N°2 del cálculo del PVM. (UNE, 2021).

$$h_c = \begin{cases} 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} & \text{para } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} > 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \\ 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} & \text{para } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} < 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \end{cases}$$

Ecuación 20. Ecuación N°3 del cálculo del PVM. (UNE, 2021).

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 l_{cl} & \text{para } l_{cl} \leq 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \\ 1,05 + 0,645 l_{cl} & \text{para } l_{cl} > 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \end{cases}$$

Ecuación 21. Ecuación N°3 del cálculo del PVM. (UNE, 2021).

Donde,

- M = es la tasa metabólica, en vatios por metro cuadrado (W/m^2);
- W = es la potencia mecánica efectiva, en vatios por metro cuadrado (W/m^2);
- I_{cl} = es el aislamiento de la ropa, en metros cuadrados kelvin por vatio ($m^2 \cdot K/W$);
- f_{cl} = es el factor de superficie de la ropa;
- t_a = es la temperatura del aire, en grados Celsius ($^{\circ}C$);
- t_r = es la temperatura radiante media, en grados Celsius ($^{\circ}C$);
- v_{ar} = es la velocidad relativa del aire, en metros por segundo (m/s);
- p_a = es la presión parcial del vapor de agua, en pascales (Pa);
- h_c = es el coeficiente de transmisión del calor por convección, en vatios por metro cuadrado kelvin [$W/(m^2 \cdot K)$];
- t_{cl} = es la temperatura de la superficie de la ropa, en grados Celsius ($^{\circ}C$).

*Una unidad metabólica = 1 met = 58,2 W/m^2 ; una unidad de ropa = 1 clo = 0,155 $m^2 \cdot ^{\circ}C/W$.

El índice PMV ha sido establecido para condiciones estacionarias, pero puede aplicarse, con una buena aproximación, en presencia de pequeñas fluctuaciones de las variables, a condición de que se consideren los valores medios ponderados en el tiempo que arrojen tales variables durante la hora precedente.

El índice sólo debería ser usado para valores de PMV comprendidos entre -2 y +2, estando los valores de los seis parámetros fundamentales comprendidos en los intervalos siguientes:

- $M = 46 W/m^2$ a $232 W/m^2$ (0,8 met a 4 met) ;
- $I_{cl} = 0 m^2 \cdot K/W$ a $0,310 m^2 \cdot K/W$ (0 clo a 2 clo);
- $t_a = 10 ^{\circ}C$ a $30 ^{\circ}C$;
- $t_r = 10 ^{\circ}C$ a $40 ^{\circ}C$;
- $v_{ar} = 0 m/s$ a $1 m/s$;
- $p_a = 0 Pa$ a $2 700 Pa$.

*En lo que concierne a v_{ar} , durante una actividad ligera y básicamente sedentaria, una velocidad media comprendida en este rango puede ser percibida como una corriente de aire.

Porcentaje Estimado De Insatisfechos (PPD, predicted percentage dissatisfied)

El PMV predice el valor medio de los votos sobre la sensación térmica que emitiría un grupo numeroso de personas sometidas al mismo ambiente. No obstante, los votos individuales están dispersos alrededor del valor medio, siendo útil el poder estimar el número de personas que, probablemente, sentirán incomodidad debida al calor o al frío.

EL PPD es un índice que establece una predicción cuantitativa del porcentaje de personas que se sentirán insatisfechas por notar demasiado frío o demasiado calor. Para el propósito de esta norma internacional, las personas térmicamente insatisfechas son aquellas que votarán muy caluroso, caluroso, fresco o frío, sobre la escala de siete (7) niveles de sensación térmica. (McGraw-Hill, 1973).

Una vez determinado el valor del PMV, se calcula el PPD utilizando la siguiente ecuación y figura:

$$PPD = 100 - 95 * \exp (-0,03353 * PVM^4 - 0,2179 * PVM^2)$$

Ecuación 22. Valor del PPD. (UNE, 2021).

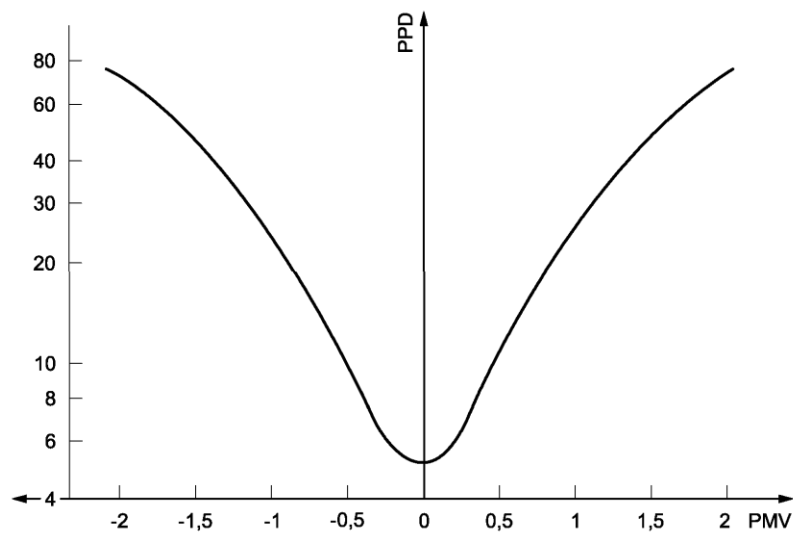


Figura 4. Figura de PVM contra el PDD en porcentaje. (UNE, 2021).

El PPD estima el número de individuos térmicamente insatisfechos de entre un numeroso grupo de personas. El resto del grupo se sentirán térmicamente neutrales, ligeramente calurosos o frescos. La distribución estimada de votos se presenta en la siguiente tabla:

PMV	PPD	Personas que se estima que voten ^a		
		%		
		0	-1, 0 o +1	-2, -1, 0, +1 o +2
+ 2	75	5	25	70
+ 1	25	30	75	95
+ 0,5	10	55	90	98
0	5	60	95	100
- 0,5	10	55	90	98
- 1	25	30	75	95
- 2	75	5	25	70

^a Basado en experimentos con 1 300 sujetos.

Tabla 6. Distribución de los votos de sensación térmica para diferentes valores del voto medio. (UNE, 2021).

Cargas térmicas:

De acuerdo con (ASHRAE, Handbook of Heating, Ventilation and Air Conditioning for Design and Implementation, 2010) en el capítulo 24; la carga frigorífica total incluye las siguientes cargas:

1. Por transmisión: Calor transmitido al espacio refrigerado a través de sus superficies. Esto incluye el calor sensible a través de paredes, techo y suelo.
2. Carga del producto: Calor eliminado y el que producen los productos introducidos y mantenidos en el espacio refrigerado. Las cargas principales en este apartado son el calor que debe ser extraído para reducir la temperatura del producto hasta la temperatura de almacenamiento y el calor que generan los mismos productos en almacenamiento principalmente frutas y verduras.
3. Carga interna: Se refiere al calor generado por fuentes internas tales como iluminación, motores o personas trabajando en el espacio refrigerado. Hay que tener en cuenta que el calor latente de la carga de calor es muy pequeño comparado a la carga total de refrigeración por lo que habitualmente se toma la carga sensible en la suma de la carga total. El componente de calor latente se debe tomar cuando hay agua involucrada en el proceso.
4. Cargas por infiltración de aire: Ganancias de calor asociadas al aire que ingresa al espacio refrigerado. Estas cargas junto con la carga asociada al equipo constituyen más de la mitad de la carga total de refrigeración en almacenes de distribución.
5. Carga debida al equipo: Son las ganancias de calor creadas por el propio equipo de refrigeración. Las principales son el calor del ventilador cuando se utiliza la circulación forzada de aire, calor de recalentamiento cuando el control de humedad forma parte de la refrigeración y el calor del descongelamiento cuando la batería de refrigeración funciona a una temperatura por debajo de la de congelación y se debe realizar los descongelamientos de forma periódica sin involucrar la temperatura ambiente.

Transferencia de calor:

Proceso de enfriamiento o calefacción que ocurre en un sistema de climatización, es producto de una serie de procesos de transferencia de calor. Existen tres tipos de procesos de transferencia de calor:

a. Conducción

Es un mecanismo de transferencia de energía térmica o calorífica entre dos cuerpos basado en el contacto directo de sus partículas sin flujo neto de materia por medio de transferencia de energía cinética de las partículas.

$$Q_c = \frac{kA (T_{EXT} - T_{INT})}{L}$$

Ecuación 23. Calor de conducción. (ASHRAE, Handbook of Heating, Ventilation and Air Conditioning for Design and Implementation, 2010).

Donde,

- Q_c = calor de conducción, Kcal/h (BTU/h)
- k = factor de conductividad térmica, Kcal/h m °C (BTU/h ft °F)
- A = área, m² (ft²)
- T_{EXT} = temperatura externa, °C (°F)
- T_{INT} = temperatura interna, °C (°F)
- L = espesor del cuerpo, m (ft)

b. Convección

Calor que se produce por medio de un flujo (líquido o gas) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas. Esta se produce únicamente por medio de materiales fluidos y se define como el transporte de calor por medio del movimiento del fluido. Existen dos tipos de calor por convección: la convección natural y la convección forzada.

$$Q_{\text{CONV}} = hA(T_s - T_{\infty})$$

Ecuación 24. Calor de convección. (ASHRAE, Handbook of Heating, Ventilation and Air Conditioning for Design and Implementation, 2010).

Donde,

- Q_{CONV} = calor de convección, Kcal/h (BTU/h)
- h = coeficiente de transferencia de calor por convección, Kcal/m² °C (BTU/h ft² °F)
- A = área, m² (ft²)
- T_s = temperatura de la superficie, °C (°F)
- T_{∞} = temperatura ambiente, °C (°F)

c. Radiación

Se define como la energía térmica o radiación calorífica emitida por un cuerpo debido a su temperatura. Todos los cuerpos emiten radiación electromagnética, siendo su intensidad dependiente de la temperatura y la longitud de onda considerada. La radiación térmica relevante es la comprendida en el rango de longitudes de onda de 0,1µm a 100µm, abarcando por tanto parte de la región ultravioleta, visible y la infrarroja del espectro electromagnético.

Factor U y Factor R

En nuestra vida cotidiana podemos encontrar la combinación de los diferentes procesos de transferencia de calor, por lo que es indispensable de realizar la simplificación de la ecuación de la transferencia de calor de las siguientes dos maneras:

$$Q = AU\Delta T$$

Ecuación 25. Ecuación general de la transferencia de calor basado en Factor U. (ASHRAE, Handbook of Heating, Ventilation and Air Conditioning for Design and Implementation, 2010).

Donde,

- Q = flujo de calor, Kcal/h (BTU/h)

- U = coeficiente de transferencia de calor global, Kcal/h m² °C (BTU/h ft² °F)
- A = área, m² (ft²)
- ΔT = temperatura de la superficie, °C (°F)

$$Q = \frac{A\Delta T}{R}$$

Ecuación 26. Ecuación general de la transferencia de calor basado en Factor R. (ASHRAE, Handbook of Heating, Ventilation and Air Conditioning for Design and Implementation, 2010).

Donde,

- Q = flujo de calor, Kcal/h (BTU/h)
- U = factor de resistencia térmica, m² °C/ Kcal (h ft² °F/BTU)
- A = área, m² (ft²)
- ΔT = temperatura de la superficie, °C (°F)

Estas dos a su vez se pueden relacionar y definir una ecuación más, que se describe a continuación:

$$U = \frac{1}{R}$$

Ecuación 27. Relación entre Factor U y Factor R. (ASHRAE, Handbook of Heating, Ventilation and Air Conditioning for Design and Implementation, 2010).

Cálculo de cargas de enfriamiento

Cargas de enfriamiento:

El interior de un edificio gana calor debido a varias fuentes. Si la temperatura y humedad del aire en los recintos se deben mantener a nivel confortable, se debe de extraer calor para compensar las ganancias mencionadas. A la cantidad neta de calor que se retira se le llama carga de enfriamiento. (Pita, 2005).

Los cálculos de las cargas de enfriamiento se calcularon en base al libro de texto Acondicionamiento de aire, principios y sistemas de Edward Pita, el cual a su vez está basado en la normativa de ASHRAE (ASHRAE, Handbook of Heating, Ventilation and Air Conditioning for Design and Implementation, 2010). Las ganancias de calor se pueden dividir en cargas externas e internas. La transferencia de calor externas será por conducción y radiación, mientras que las internas vienen siendo la convección que se da dentro del recinto.

Otro punto para tomar en cuenta es la diferencia entre ganancias de calor sensible y calor latente; una ganancia de calor latente ocasiona un aumento de la humedad debido a la adición de vapor de agua mientras que una ganancia de calor sensible ocasiona un aumento de la temperatura del aire.

1. Las ganancias de calor sensible son:

- Conducción a través de paredes, techo y vidrios al exterior.
- Conducción a través de divisiones internas, cielos rasos y pisos.
- Radiación a través de vidrios.
- Alumbrado.

$$Q_s = \Delta H = mC_p(t_2 - t_1)$$

Ecuación 28. Calor sensible – Presión constante. Fuente (Pita, 2005).

Donde,

- H = entalpía del sistema
- m = masa del cuerpo
- C_p = calor específico a presión constante
- t_2 = temperatura final del cuerpo
- t_1 = temperatura inicial del cuerpo

$$Q_s = \Delta U = nC_v(t_2 - t_1)$$

Ecuación 29. Calor sensible – Volumen constante. Fuente (Pita, 2005).

Donde,

- U = energía interna del sistema
- n = moles de la sustancia
- C_v = calor específico a volumen constante
- t_2 = temperatura final del cuerpo
- t_1 = temperatura inicial del cuerpo

2. Las ganancias de calor latente son:

- Personas.
- Infiltración del aire exterior a través de aberturas.

Efecto de almacenamiento de calor:

La relación entre las ganancias de calor y la carga de enfriamiento es muy compleja, en la figura adjunta podemos ver este fenómeno detalladamente.

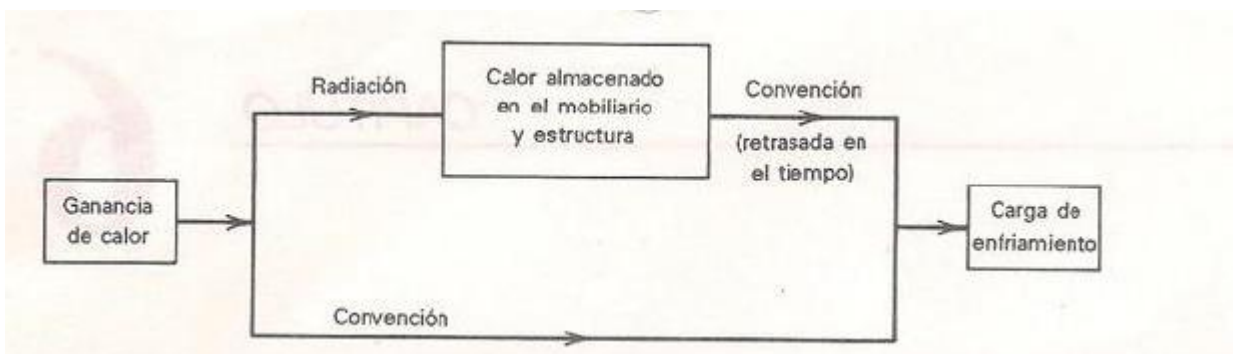


Figura 5. Diagrama de flujo de calor donde se indica la ganancia de calor de la construcción, el almacenamiento de calor y la carga térmica. (Pita, 2005).

La ganancia de calor bruta del recinto es la velocidad a la que se recibe calor en cualquier momento del recinto. Esta ganancia de calor está constituida por partes procedentes de muchas fuentes: radiación solar, alumbrado, conducción y convención, personas, equipo,

infiltración. Todo el calor que se recibe de esas fuentes en general no se emplea en forma inmediata para calentar el aire del recinto. Algo de calor, en especial la energía radiante del sol, luces y personas se absorbe en los materiales dentro del recinto, tanto de su infraestructura como de los muebles. A esto se le llama el efecto de almacenamiento de calor: calor que se absorbe y almacena en los materiales de construcción. Como resultado de ello, con frecuencia la ganancia neta de calor al aire del recinto, que procede de las fuentes de calor, es menor de las ganancias brutas de calor. La carga de enfriamiento del recinto, que es la velocidad a la cual se debe eliminar el calor del recinto para mantener las condiciones de diseño, es la suma de las ganancias netas del calor. (Pita, 2005).

El efecto de almacenamiento se puede considerar también como un periodo de retraso del calor. Esto es, algo del calor que se recibe en el recinto se retrasa en el tiempo para alcanzar el aire de este. Al final, la temperatura de los materiales de construcción se elevará lo suficiente como para ceder calor al aire de la estancia. Sin embargo, en general el almacenamiento continúa más allá de la hora de la carga máxima en el día, y el efecto neto es una reducción de cargas pico o máximas, como se demuestra en la siguiente figura. (Pita, 2005).

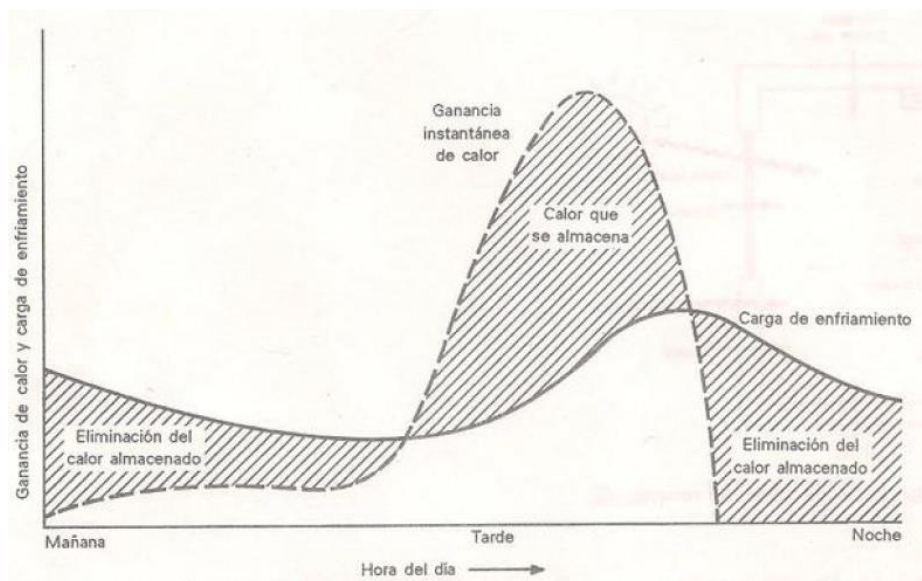


Figura 6. Diferencia entre ganancia instantánea de calor y la carga de enfriamiento que resulta del efecto de almacenamiento de calor. (Pita, 2005).

Los métodos que emplearemos toman en cuenta el efecto de almacenamiento de calor y el periodo de retraso de modo directo y sencillo.

Ganancias de calor en recintos

Los componentes que contribuyen a la ganancia de calor en el recinto son los descritos en la siguiente figura:

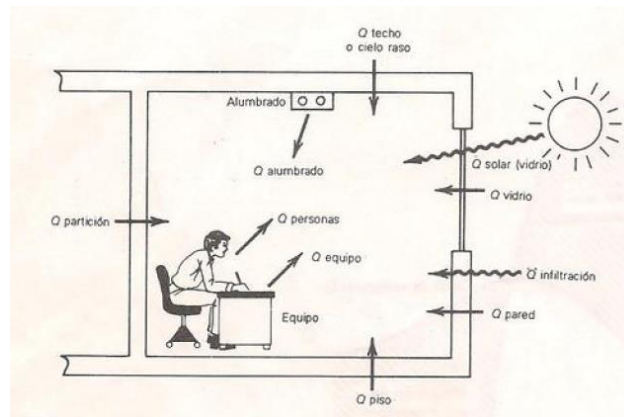


Figura 7. Componentes de la ganancia de calor del recinto, Q. (Pita, 2005).

1. Conducción a través de paredes, techos y vidrios al exterior.
2. Conducción a través de divisiones internas cielos rasos y pisos.
3. Radiación solar a través de vidrios.
4. Alumbrado.
5. Personas.
6. Equipos.
7. Infiltración del aire exterior a través de aberturas.

Conducción de calor a través de la estructura exterior.

Según Pita, las ganancias de calor por conducción a través de paredes exterior, techo y vidrios se calculan según la siguiente ecuación:

$$Q = U * A * DTCEe$$

Ecuación 30. Conducción a través de la estructura exterior (techos, paredes y vidrios). Conducción a través de la estructura exterior (techos, paredes y vidrios). (Pita, 2005).

En donde la diferencia de temperatura para carga de enfriamiento para el cálculo de techos y paredes (DTCEe) se calcula de la siguiente manera;

$$DTCEe = [(DTCE + LM) * K + (78 - Tr) + (To - 85)] * f$$

Ecuación 31. Diferencial de temperatura para cargas de enfriamiento, en techos y paredes exteriores. (Pita, E, 2005).

Por lo tanto, sustituyendo las ecuaciones 29 y 30 se obtiene:

$$Q = U * A * [(DTCE + LM) * K + (78 - Tr) + (To - 85)] * f$$

Ecuación 32. Conducción a través de la estructura exterior, en techos y Paredes.

Donde,

- Ganancia de neta del recinto por conducción a través de paredes (Q), Kcal/h (BTU/h).
- Coeficiente general de transferencia de calor para las paredes (U), Kcal/h m² °C (BTU/h ft² °F).
- Factor de corrección al color de la superficie (K)
- Temperatura del recinto (Tr), °C (°F).
- Temperatura de diseño exterior (To), °C (°F).
- Factor de corrección para ventilación del cielo raso (f).
- Área de la pared o techo (A), m² (ft²).
- Diferencia de temperatura para cargas de enfriamiento para paredes y techos (DTCE).

Los valores de factor de corrección al color de la superficie (K), van de acuerdo al color de la superficie (Pita, 2005).

- 1 para superficies oscuras o áreas industriales.
- 0,5 para techos de color claro o en zonas rurales.
- 0,65 para paredes de color claro en zonas rurales.

El factor de corrección para ventilación del cielo raso (f), solo se usa para cielo rasos, utiliza los siguientes valores, de acuerdo con la presencia o ausencia de techo falso (Pita, E, 2005).

- 0,75 para ventiladores de entrepiso (techo falso).
- 1 para todos los demás casos.

Conducción de calor a través del vidrio.

Para el cálculo de la conducción a través del vidrio se utiliza la ecuación 29, vista en el apartado anterior. El diferencial de temperatura para carga de enfriamiento (DCTEe), para la conducción a través del vidrio, es diferente al usado en la sección de conducción de calor a través de estructura exterior ya que esta conducción de calor no toma en cuenta los valores de longitud y mes (LM), el factor de corrección al color de la superficie (K) y factor de corrección para ventilación del cielo raso (f), estos factores no aplican en el cálculo de conducción a través del vidrio, estos factores (LM, K y f), se utilizan solo para la conducción de calor a través del techos y paredes exteriores (Pita, 2005).

La diferencia de temperatura para carga de enfriamiento (DCTEe) para la conducción a través del vidrio se calcula:

$$DTCEe = DTCE + (78 - Tr) + (To - 85)$$

Ecuación 33. Diferencial de temperatura para cargas de enfriamiento, en vidrios. (Pita, E, 2005).

Por lo tanto, sustituyendo la ecuación 32 en la ecuación 29, se encuentra la ecuación para calcular la conducción de calor a través del vidrio, obteniéndose:

$$Q = U * A * [DTCE + (78 - Tr) + (To - 85)]$$

Ecuación 34. Conducción a través de la estructura exterior, en vidrios.

Donde,

- Ganancia de neta del recinto por conducción a través del vidrio (Q), Kcal/h (BTU/h).

- Coeficiente general de transferencia de calor para el vidrio (U), Kcal/h m² °C (BTU/h ft² °F).
- Temperatura del recinto (Tr), °C (°F).
- Temperatura de diseño exterior (To), °C (°F).
- Área de la pared o techo (A), m² (ft²).
- Diferencia de temperatura para cargas de enfriamiento del vidrio (DTCE).

Conducción de calor a través de la pared interior.

Según Pita, las ganancias de calor por conducción a través de paredes interiores.

$$Q = U * A * DT$$

Ecuación 35. Conducción de calor a través de la pared interior. (Pita, 2005).

En donde la DT es la diferencia de temperatura entre el recinto sin acondicionar y el recinto acondicionado, en °C (°F), se debe tomar en cuenta, que la temperatura interior es la temperatura exterior menos -15 °C (5 °F), este valor se debe al fenómeno conocido como radiación del cuerpo oscuro (Pita, 2005).

Radiación a través del vidrio

Para el cálculo de la radiación a través del vidrio, se calcula con la siguiente formula:

$$Q = FGCS * A * CS * FCE$$

Ecuación 36. Radiación a través de los vidrios. (Pita, 2005).

Donde,

- Factor de ganancia máxima de calor solar (FGCS),
- Coeficiente de sombreado (CS), CS = 1, vidrio sencillo claro (Pita, 2005).
- Factor de carga de enfriamiento para el vidrio (FCE).

Ganancia por alumbrado

La ecuación para calcular la ganancia debida alumbrado es:

$$Q = 3,41 * W * FB * FCE$$

Ecuación 37. Ganancia debida por alumbrado. (Pita, 2005).

Donde,

- Ganancia de neta del recinto por alumbrado (Q), Kcal/h (BTU/h).
- Factor de balastro (FB).
- Factor de carga por enfriamiento; FCE.
- W: Capacidad del alumbrado, Watts (W).

El factor de balastro toma en cuenta las pérdidas de calor en el balastro, un valor típico es de 1,25 para el alumbrado fluorescente y un valor de 1 para alumbrado incandescente, por lo tanto, para alumbrado incandescente no hay pérdidas adicionales (Pita, 2005).

Para el factor de carga de enfriamiento, se toma en cuenta el almacenamiento de parte de la ganancia de calor por alumbrado, este efecto depende de cuánto tiempo está encendido el alumbrado, trabajo de enfriamiento, construcción del edificio, tipo de unidades de alumbrado y la ventilación. Así que se utiliza usar un valor $FCE = 1$, cuando, no se tengan las siguientes condiciones:

- El sistema de enfriamiento sólo trabaja durante las horas de ocupación.
- El sistema de enfriamiento trabaja más de 16 horas.
- Se permite aumentar la temperatura del recinto durante las horas que no se ocupa.

En caso de que exista alguna de estas condiciones se consultara los valores brindados por ASHRAE (Pita, 2005).

Ganancia por personas

La ganancia de calor debida a las personas se compone de dos partes: el calor sensible y el calor latente, este es debido a la transpiración. La velocidad de ganancia de calor debida de calor debido a las personas depende de la actividad física que se realice, las velocidades están determinadas para una temperatura de 25.56 °C (78 °F) BS (Pita, 2005).

Para calcular las ganancias se utilizan las siguientes ecuaciones.

$$Q_s = q_s * n * FCE$$

Ecuación 38. Ganancia de calor sensible debida a personas. (Pita, 2005).

$$Q_l = q_l * n$$

Ecuación 39. Ganancia de calor latente debida a personas. (Pita, 2005).

Donde,

- Q_s y Q_l : Ganancias de calor sensible y latente debido a las personas.
- q_s y q_l ganancias de calor sensible y latente por persona.
- n : número de personas.
- FCE: factor de carga de enfriamiento para personas.

Si durante la noche se apaga el sistema de aire acondicionado, no habrá almacenamiento de calor y el $FCE = 1$ (Pita, 2005).

Ganancias de calor por equipo

La ganancia de calor debida a los equipos eléctricos se pueden encontrar en datos de placa o consultando los catálogos de los respectivos equipos, por lo general, estos datos vienen dados en Watts, por lo tanto, se pueden calcular mediante la ecuación de potencia eléctrica, tomando en cuenta que estos valores se deben convertir a Kcal/h (BTU/h) con el factor de conversión de que en:

$$1 \text{ W} = 0,86 \text{ Kcal (3,41 Btu/h)}$$

Ecuación 40. Ganancia de calor por equipo. (Pita, 2005).

$$P = V \times I$$

Ecuación 41. Potencia eléctrica. (Boylestad, 2004).

Donde,

- W: Potencia del equipo en Watts (W).
- Q: Ganancia de calor por equipo, Kcal/h (BTU/h).
- P: Potencia eléctrica en Watts (W)
- V: Diferencia de potencial o voltaje en Volts (V).
- I: Corriente Eléctrica en Ampere (A).

Transferencia de calor a los alrededores.

Parte de la ganancia del calor sensible del recinto se transfiere a través de la estructura hacia los alrededores, este fenómeno no se contempla en el cálculo de la carga térmica, esta pérdida de calor sensible se debe corregir las ganancias de calor sensible en el recinto producidas por conducción (techos, paredes y vidrios) radiación solar a través de los vidrios, alumbrado, personas y equipo, este factor de corrección se calcula con las siguientes fórmulas:

$$F_c = 1 - 0,02K$$

Ecuación 42. Factor de corrección para las ganancias de calor sensible en el recinto. (Pita, 2005).

$$K = U_w A_w + U_g A_g L$$

Ecuación 43. Factor de Conductancia por unidad de longitud. (Pita, 2005).

Donde:

- F_c: Factor de corrección para las ganancias de calor sensible en el recinto.
- K: Conductancia de la unidad de longitud, Kcal/h m °C (BTU/h ft °F).
- L: Longitud total de la pared exterior, m (ft).

Carga de enfriamiento o refrigeración

Una vez calculadas las ganancias máximas de calor, tanto latente como sensible se procede a calcular la carga de refrigeración o enfriamiento, esta es la carga a la que se somete el equipo de producción de frío, estas ganancias pueden provenir de:

- Infiltraciones.
- Ganancia de calor en ductos.

Infiltraciones

Por lo general se filtra una cantidad de aire exterior por las fisuras de puertas y ventanas, este hecho ocasiona una carga de calor, tanto calor sensible como calor latente, ya que el calor sensible y latente de este aire que entra es mayor que el aire de enfriamiento. Este exceso de calor se elimina por lo general con el equipo de enfriamiento del sistema de aire acondicionado, por este hecho esta ganancia de calor no está dentro del cálculo de ganancia de calor de los recintos, así que, para calcular la carga térmica total por cada recinto, esta ganancia se suma a la carga del recinto luego de corregirla con el factor corrección de cargas de calor sensible, visto en la sección anterior (Pita, 2005).

Para calcular las cargas de calor sensible y calor latente, se usan las siguientes ecuaciones:

$$Q_s = 1,1 * CFM * CT$$

Ecuación 44. Carga de Calor sensible debido a la ventilación. (Pita, 2005).

$$Q_l = 0,68 * CFM * (w_e' - w_i')$$

Ecuación 45. Carga de calor latente debido a la ventilación. (Pita, 2005).

Donde,

- QS y Ql: Ganancias de calor sensible y latente debido a la ventilación, Kcal/h (BTU/h).

- CFM: siglas del inglés cubic feet per minute, flujo de aire de ventilación, ft³/min. (1 CFM = 4,71947 x10⁻⁴ m³/s).
- CT: Cambio de temperatura entre el aire exterior e interior, °C (°F).
- w_e y w_i : relación de humedad exterior e interior, en g de agua/Kg de aire seco.

Ambas ecuaciones se deducen del siguiente procedimiento matemático:

$$Q_s = m * c * CT$$

Ecuación 46. Ecuación del calor sensible. (Pita, 2005).

Donde,

- m: es la masa del aire, Kg (lb).
- c: es el calor específico en Kcal / Kg °C (Btu / lb °F), en donde para el aire vale $C=0,24$ Kcal / Kg °C (Btu / lb °F).

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Ecuación 47. Densidad. (Pita, 2005).

Donde,

- ρ = es la densidad, para el caso del aire la densidad es $\rho = 1,20138$ Kg/m³ (0,075 lb/ft³).
- m = es la masa, Kg (lb).
- V = es el volumen, m³ (ft³).

De manera similar se realiza para la obtención de la ecuación 47, para este caso el calor latente se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q_L = m_w * C_L$$

Ecuación 48. Ecuación de calor latente. (Pita, 2005).

Donde,

- m_w : Masa de vapor de agua agregado o eliminado, Kg agua/h (lb agua/h).

- C_L : Calor específico de vaporización, Kcal/Kg (Btu/lb), para el aire en condiciones normales es aproximadamente 586,50 Kcal/Kg (1055 Btu/lb) (Pita, E, 2005).

La masa de vapor de agua se calcula con la ecuación:

$$m_w = m_a(w_{e'} - w_i')$$

Ecuación 49. Masa de vapor de vapor de agua. (Pita, 2005).

Donde,

- m_w : Masa de vapor de agua agregado o eliminado (lbagua/h).
- m_a : flujo de aire (lb/h)
- $w_{e'}$ y w_i' : relación de humedad exterior e interior, en g de agua/lb de aire seco.

Ganancia de calor en ductos.

El aire acondicionado que pasa por los ductos gana calor. Si el ducto pasa a través de espacios acondicionados, la ganancia de calor ocasiona un efecto de enfriamiento, pero para los ductos que para los ductos genera una pérdida de calor sensible que se le deba sumar a la carga sensible del recinto.

$$Q = U * A * DT$$

Ecuación 50. Ganancia de calor en ductos. (Pita, 2005).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se presenta el marco metodológico, el cual se desarrolla la parte teórica de las metodologías que se van a utilizar a lo largo del proyecto de tesis además se definen cada uno de los pasos por utilizar de la investigación. Se van a detallar los tipos de metodologías que se deben de realizar en la investigación, y aparte se va a definir cuáles serán utilizados en el presente proyecto, brindándoles un uso para poder analizar el planteamiento del problema y poder encontrar una propuesta para el diseño del sistema de climatización requerido.

Posteriormente, se va a definir el enfoque, el alcance, el diseño, muestra de investigación, las variables o unidades de análisis, los instrumentos, el proceso para la recolección de datos y el método de análisis. Este desarrollo de datos permite tener un panorama claro de lo que se requiere en el proyecto y de lo que se va a obtener dentro del mismo.

Enfoque de la investigación.

A continuación se explican los tipos de enfoque que existen dentro de una investigación:

Enfoque cualitativo.

Este enfoque se guía por áreas o temas significativos de investigación. Los estudios que se realizan con un enfoque cualitativo, generalmente, desarrollan, preguntas antes, durante y después de la investigación y de la obtención de la información para la investigación. Estas actividades ayudan a descubrir cuáles son las preguntas de investigación más importantes y después perfeccionarlas y responderlas. El enfoque cualitativo, utiliza la recolección de datos para resolver interrogantes (Hernández, 2014).

Enfoque cuantitativo.

El enfoque cuantitativo es el enfoque que representa un conjunto de procesos, es secuencial y también probatorio, por lo cual no se debe de obviar ninguno de los pasos del proceso, sino que todos deben de llevar un orden sugerido. El orden en este tipo de enfoque es sumamente excepcional, aunque, desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones respecto de la o las hipótesis (Hernández, 2014).

Enfoque mixto.

El enfoque mixto de la investigación implica un conjunto de procesos de recolección, análisis y vinculación de datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio o una serie de investigaciones para responder a un planteamiento del problema (Hernández, 2014).

Es importante definir el tipo de enfoque que se empleará en un proyecto de investigación, el autor explica los tres tipos que se pueden utilizar en las investigaciones y detalla la diferencia de los mismos, y la razón de ser de cada uno dentro de un proyecto.

Con base en la explicación del autor y la diferencia de los tipos de enfoque, se establece que para este proyecto de investigación, cuyo tema central es el diseño de un sistema de climatización, se utilizará el enfoque cuantitativo, esto debido a que se analizarán variables y se orientará a mediciones y cálculos térmicos.

Alcance de la investigación.

A continuación se definen los tipos de investigación dentro de un proyecto, según lo que dicta el autor **¿CUÁL AUTOR?** en el libro Metodología de la Investigación:

Investigación descriptiva.

Busca especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población. (Hernández, 2014).

Investigación correlacional.

Asocian variables mediante un patrón predecible para un grupo o población. (Hernández, 2014)

Investigación explicativa.

Pretenden establecer las causas de los sucesos o fenómenos que se estudian. (Hernández, 2014)

Investigación exploratoria.

Se emplea cuando el objetivo consiste en examinar un tema poco estudiado o novedoso. (Hernández, 2014)

Podemos concluir que en el presente proyecto se requiere utilizar una investigación exploratoria, debido a que una investigación enfocada en la perspectiva de innovación, es un tema poco estudiado y contribuye a identificar conceptos relevantes para los sistemas de climatización.

Método de la investigación.**Diseño experimental.**

Según Hernández (2014), los diseños experimentales se utilizan cuando el investigador pretende establecer el posible efecto de una causa que se manipula. La esencia de esta concepción de experimento es que requiere la manipulación intencional de una acción para analizar sus posibles resultados.

Diseño no experimental.

Podría definirse como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios en los que no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para analizarlos. (Hernández, 2014)

Según Hernández (2014), el diseño no experimental, se divide en transeccional y longitudinal, en algunas ocasiones pueden convertirse en estudios cualitativos, al emplear métodos cualitativos. Asimismo, pueden valerse de las diferentes herramientas de la investigación mixta.

Continuando con el autor referenciado, el diseño no experimental, se puede dividir en dos tipos:

- Investigación transeccional o transversal: son los que recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. Es como “tomar una fotografía” de algo que sucede.
- Diseños longitudinales de tendencia: son aquellos que analizan cambios al paso del tiempo en categorías, conceptos, variables o sus relaciones de alguna población en general. Su característica distintiva es que la atención se centra en la población o universo.

Se basará en diseños longitudinales de tendencia, ya que se estarán realizando mediciones y análisis en todo el proyecto en los diversos espacios a climatizar, y se deben de contemplar las variantes a lo largo del tiempo que pueden afectar los cálculos, esto considerando los cambios de temperatura en los recintos a las diferentes horas del día, y que las necesidades de cada espacio las cuales varían según su requerimiento.

Fuentes de información

En la elaboración de este proyecto se utilizaron mayormente las fuentes primarias, Buonacore (1980) las define como: “Las que contienen información original no abreviada ni

traducida: tesis, libros, nomografías, artículos de revista, manuscritos. Se les llama también fuentes de información de primera mano...” (p. 229). Incluye la producción documental electrónica de calidad.

Las fuentes de investigación para este proyecto serán tomadas de diversos artículos, compilaciones y libros de autores reconocidos internacionalmente, por tanto, se propone utilizar la información de fichas técnicas y manuales de instalación de los sistemas de climatización como lo desarrollan la Organización ASHRAE y uno de los autores muy reconocido como lo es Edward Pita en los libros de “Acondicionamiento de Aire, Principios y Sistemas”. Según Hernández (2014), la muestra es un subgrupo de la población o universo que nos interesa, sobre el cual se recolectaran los datos pertinentes y deberá ser representativo de dicha población.

Muestra probabilística

Todos los elementos de la población tienen la misma posibilidad de ser escogidos para la muestra y se obtienen definiendo las características de la población y el tamaño de la muestra, y por medio de una selección aleatoria o mecánica de las unidades de muestreo/análisis. (Hernández, 2014)

Muestra no probabilística

La elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador. (Hernández, 2014)

Según el autor anterior, para la selección de una muestra, depende del planteamiento del estudio y del diseño de la investigación. En este caso, se selecciona la muestra no probabilística, debido a que la elección depende de las características de la investigación en un momento, por lo tanto, se va a realizar el análisis y la recopilación de los datos, esto por la razón de que se va a planificar un tiempo para observar el proceso de preparación, diseño y funcionamiento del sistema de climatización deseado.

Variables o Unidades de Análisis.

Para determinar las variables se muestra a continuación la tabla compuesta por las columnas de: objetivo, variable, indicador, definición conceptual, definición operacional y definición instrumental. En esta tabla se presentan los objetivos expuestos en el Capítulo I del proyecto.

Objetivo	Variable	Indicador	Definición Conceptual	Definición Operacional	Definición Instrumental
Efectuar el diseño de un sistema de climatización eficiente, que se adapte a las necesidades de los recintos, en los diferentes pisos del edificio académico, cumpliendo con los requisitos de cada una de las normas y códigos que rigen en el país.	Edificio Académico Universitario.	Diseño de sistema de climatización.	Es un edificio ubicado en la provincia de San José, Costa Rica, al cual se le estará diseñando el sistema de climatización.	Mediante visitas al sitio, verificación y toma de datos, así como la realización de cálculos térmicos.	Libreta de anotaciones y apuntes en computadora.
Realizar el levantamiento de las cargas térmicas de los diferentes espacios de los pisos del edificio académico.	Recintos edificio académico.	Cargas térmicas.	Se realizará mediciones de las cargas térmicas para cada recinto en particular, esto tomando en cuenta sus necesidades específicas.	Mediante análisis de datos en los diferentes espacios, contemplando todas las cargas térmicas asociadas al recinto.	Hoja de datos y cálculos elaborada en Excel.
Determinar la totalidad de la carga térmica del edificio.	Colección de datos.	Determinar carga térmica total.	Se realizará un levantamiento de todos los datos y cargas térmicas individuales y se estimará la carga térmica total, así como la selección de los equipos.	Compilación en base de dato, se efectuará la escogencia de los equipos y sus capacidades.	Tablas de datos que interpreten los cálculos desarrollados en el proyecto.
Elaborar propuesta de planos mecánicos constructivos del sistema de climatización del edificio académico.	Planos mecánicos.	Elaboración de planos mecánicos.	Se elaborará un conjunto de planos mecánicos donde podrán observar las unidades y sus ubicaciones, así como el tipo de equipo seleccionado.	Se utilizarán herramientas de diseño en computadora para la elaboración de planos.	Utilización de programas y software especializados.
Realizar análisis de costos de factibilidad y con esto establecer el valor actual neto (VAN), y la tasa de interna de retorno (TIR).	Determinar costos asociados al proyecto y su viabilidad.	Factibilidad y rentabilidad del proyecto.	Se desarrollarán cálculos térmicos y de consumos energéticos de los equipos instalados actualmente y se realizará una comparativa con la propuesta de instalación.	Se realizarán cálculos con respecto al valor actual neto y tasa interna de retorno.	Compilación técnica y económica del sistema de climatización.
Diseñar e implementar planes y rutinas de mantenimiento que promueva la vida útil de los equipos de climatización.	Rutinas de mantenimiento de los equipos.	Manual de revisión y mantenimiento de las unidades.	Se elaborará un manual propio el cual incluya un listado de actividades preventivas que se deben de realizar para la correcta operación de los equipos.	Se creará una lista de chequeo la cual contendrá una guía sencilla para la correcta elaboración de los mantenimientos.	Guía para el personal que efectúe las rutinas de mantenimiento.

Tabla 7. Descripción de variables o unidades de análisis. (Elaboración propia, 2021).

Instrumento.

De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014), el instrumento es un recurso que utiliza el investigador para registrar información o datos (p.199). Es ese elemento que ayudará al investigador a recolectar la información para brindar respuesta a sus objetivos. Según el enfoque elegido CL, CT o Mixto, se tendrá una variedad de instrumentos para elección.

A continuación, se presenta tabla de instrumentos a utilizar.

Instrumento	Recursos Requeridos	Beneficios Esperados
Visitas de medición en el edificio.	Hoja de chequeo de elaboración propia, cinta métrica y planos del edificio.	Realizar levantamiento de los espacios donde se estará realizando el diseño del sistema de climatización.
Cálculo de cargas térmicas.	Computadora, hoja de cálculo de Excel, y tablas para el cálculo de cargas térmicas.	Calcular carga térmica de cada uno de los recintos, tomando en cuenta los aspectos técnicos de cada espacio.
Análisis financiero.	Recopilación de información técnica y económica de los equipos instalados y los propuestos en el diseño del sistema de climatización.	Realizar cálculos financieros para determinar viabilidad del proyecto, así como su rentabilidad.
Manual de rutinas de mantenimiento de los equipos.	Elaborar un manual de rutinas de mantenimiento preventivo para las unidades de aire acondicionado.	Crear una lista de chequeo la cual contenga una guía de fácil uso, que aporte criterios técnicos para la adecuada manipulación y mantenimiento de los equipos.

Tabla 8. Descripción de los instrumentos utilizados. (Elaboración propia, 2021)

Procedimiento de recolección de datos

Respecto al procedimiento metodológico, la investigación se desarrollará en cuatro etapas, con las cuales se busca el cumplimiento de los objetivos planteados, que corresponden a la puesta en operación de actividades, haciendo uso de distintas herramientas.

Etapa I. Planteamiento del problema

En esta etapa se exponen las problemáticas, los objetivos, el alcance y las limitaciones del proyecto.

Etapa II. Investigación

Se realizó la búsqueda de la información para el diseño de los sistemas de climatización, se determina lo requerido para el cálculo de las cargas térmicas, así como las normativas y reglamentos que aplican en nuestro país para el desarrollo de sistemas de acondicionamiento del aire.

Etapa III. Desarrollo

Se plantea posible diseño a elegir, el tipo de tecnología que se implementará en el sistema de climatización, adicionalmente se estimarán las cargas térmicas existentes en los recintos. Esto con el fin de obtener datos, realizar cálculos teóricos de las cargas térmicas reales, las cuales nos permitirán escoger el sistema apto para cada espacio a acondicionar y posteriormente realizar de forma precisa el análisis financiero de rentabilidad.

Etapa IV. Conclusión

Al finalizar todas las etapas anteriores se procede a emitir las conclusiones del trabajo y a efectuar las correspondientes recomendaciones para cada uno de los objetivos, esto permite determinar si los alcances del proyecto se lograron completar y determinar si la propuesta del cambio del sistema de climatización es rentable y es factible su ejecución.

A continuación, se les muestra flujo del marco metodológico que se tomará para el desarrollo del proyecto:

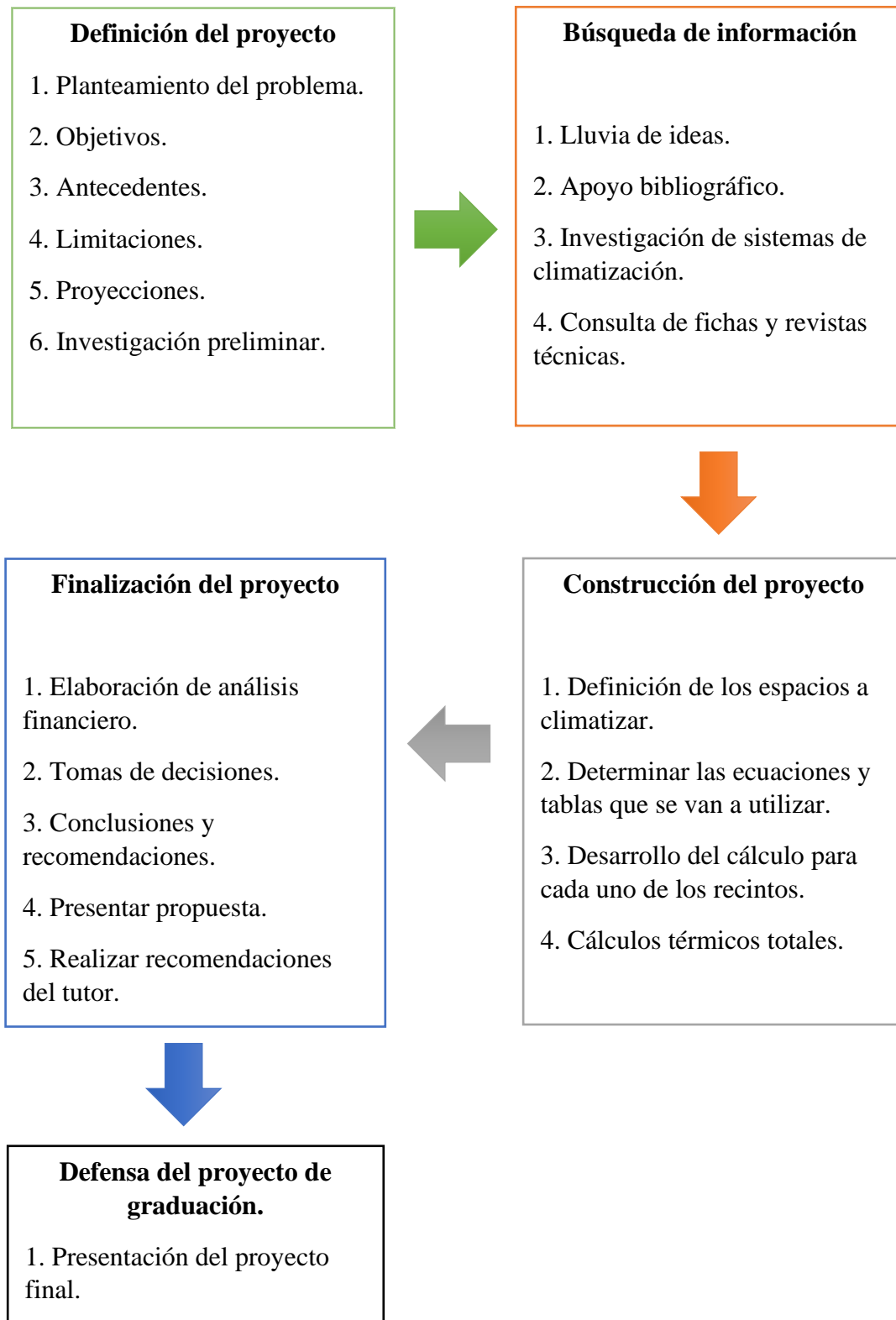


Figura 8. Diagrama de flujo del Marco Metodológico. (Elaboración propia, 2021)

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

El objetivo principal del presente trabajo se basa en realizar el diseño del equipamiento de aire acondicionado requerido que debe ser instalado para la adecuada climatización de todos los recintos en los cinco pisos de la Universidad, está ubicada en San José, Costa Rica. Para este capítulo, se describirá de manera detallada cada uno de los cálculos realizados para determinar la carga térmica de cada espacio, también se explicará el procedimiento para la selección de cada uno de los equipos necesarios en los recintos.

Se va a realizar el estudio de los datos técnicos obtenidos en campo, los cuales son una guía para la selección del equipamiento electromecánico necesario para el diseño y de esta forma se elaborarán una serie de rutinas para la revisión y manipulación de las unidades de climatización.

Además, se va a realizar un estudio financiero para determinar la factibilidad del proyecto, según la inversión inicial que se debe de hacer, esto basado en ofertas de empresas en el ámbito de aire acondicionado y comparando los consumos eléctricos actuales, contra los del diseño. Para lo anterior, se hará uso de un grupo de herramientas confeccionadas para la recolección de datos e información técnica necesaria, elaboración de planos electromecánicos y el análisis técnico respectivo con las empresas para obtener información certificada de las unidades.

Alcance.

El presente proyecto de investigación contiene los requisitos, datos, cálculos y procedimientos necesarios para la realización del diseño del sistema de climatización óptimo para el edificio académico de la universidad, proporcionando equipos de alta eficiencia energética que contribuyan a establecer un confort ideal para los diferentes espacios que se plantea climatizar, esto sin dejar de lado el proporcionar las rutinas de mantenimiento adecuadas para que funcionen correctamente durante su tiempo de vida útil.

Propósito.

Proporcionar el diseño de un sistema de aire acondicionado que se adapte a las necesidades de cada uno de los recintos climatizar, esto proponiendo equipos con tecnología de Volumen de Refrigerante Variable (VRV), que contribuya en temas de ahorro energético y así mismo brinden confort a los diferentes usuarios del servicio, tanto en la parte administrativa como en la vida estudiantil en general. Es importante mencionar que el diseño propuesto es los cinco pisos principales del edificio académico, abarcando muchos espacios de interés y contemplando los espacios administrativos, laboratorios, salas de estudio y aulas en general.

Parámetros generales de diseño.**Condiciones ambientales externas.**

Los cuatro procesos psicrométricos que ASHRAE establece son los siguientes:

- Enfriamiento.
- Deshumidificación.
- Calefacción.
- Humidificación.

Para el caso de las condiciones climáticas externas para el modo de enfriamiento, se establecen los siguientes parámetros:

- TBS: 30.9 °C (87.6°F).
- TBH: 20.9 °C (69.9°F).
- HR: 47.5%
- Mes más caliente: Abril. (IMN, Instituto Meteorológico Nacional , 2021)

Parámetros geográficos.

En esta sección se definirán los parámetros geográficos tomados directamente de la Estación Meteorológica de Aranjuez del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) con la ventaja de que se encuentra ubicada a pocos metros de la universidad, por lo que se consideran datos actualizados, totalmente reales y exactos; esto es sumamente importante para definir las condiciones psicrométricas del aire, parámetros indispensables para comenzar el diseño.

La Estación Meteorológica de Aranjuez tiene los siguientes detalles de ubicación:

- Altitud: 1172 msnm.
- Latitud: 09°56'11''N.
- Longitud: 84°04'11'' O.
- Tiempo horario: - 6.00 GMT (Greenwich Mean Time). (IMN, Estación Meteorológica IMN, Aranjuez, 2021).

Parámetros para el cálculo de las cargas térmicas.

Se describen a continuación la estructura del documento de elaboración propia para el cálculo de las cargas térmicas para cada recinto basado en los datos de cada uno de los espacios y sus dimensiones.

- Transferencia de calor por radiación solar a través de los vidrios.
- Aporte a través del alumbrado.
- Aporte generado por las personas.
- Aporte generado por los equipos.
- Ganancias de calor por infiltración.
- Ganancias de calor por ventilación.
- Ganancias de calor por ductos.

Equipos y herramientas utilizados.

Se utilizarán para el cálculo de las cargas térmicas los siguientes aparatos:

- Computadora: esta se utilizará para el manejo de los datos recopilados.
- Tablet: se utilizará como dispositivo de apoyo para la hoja de cálculo.
- Psicrómetro: este dispositivo se emplea para las mediciones de la humedad relativa, temperatura de bulbo húmedo y bulbo seco.
- Cinta métrica: herramienta utilizada para las mediciones de los espacios, se utilizarán dos tipos que se diferencian del alcance de estas.
- Libro de apuntes: se llevará un registro escrito de los componentes y mediciones para cada espacio, esto se digitalará y pasará a formar parte de la evidencia del trabajo.

Cálculo de cargas térmicas por recinto.

Para la demostración y aplicación de la hoja de cálculo desarrollada utilizaremos el Aula 1402, ubicada en el cuarto piso de la universidad y de esta forma ejemplificaremos del cálculo de la carga térmica para este espacio.

Es importante tener en cuenta que los valores que obtengamos al realizar los cálculos manualmente pueden diferir un poco a los calculados en la hoja de Excel, ya que solo se tomarán en cuenta los primeros dos decimales, el programa utilizará la totalidad de decimales ya que el mismo no se encuentra limitado y hace el proceso de manera automática.

Parámetros geográficos (IMN).

- Altitud: 1172 msnm.
- Latitud: 10 °N.
- Temperatura bulbo húmedo exterior: 21.3 °C.
- Temperatura bulbo seco exterior: 26.45 °C.
- Temperatura bulbo húmedo interior: 19.84 °C. (Medido con instrumento).

- Temperatura bulbo seco interior: 25.53 °C. (Medido con instrumento).
- Humedad relativa: 69.2 %.

Parámetros de diseño.

- Siete luminarias grandes de 79W c/u.
- Una luminaria pequeña de 48W.
- Capacidad para treinta y dos personas (Capacidad plena).
- Tres vidrios orientación oeste de 1.8m largo x 1.3m alto c/u.
- Un vidrio orientación este de 3.2m largo x 1.4m alto.
- Un vidrio orientación este de 1.2m largo x 1.4m alto.
- Puerta de madera de 2.15m alto x 0.9m ancho.

Datos de conducción.

Para determinar cada uno de los valores aplicamos las siguientes ecuaciones.

- Conducción a través de vidrios:

$$BTU/h = A (\text{cristal}) * \text{Factor Solar (tabla 4)} * \text{Coef. Sombra (tablas 6 y 7)} \\ * FC$$

Ecuación 51. Ganancia por conducción en vidrios. (Pita, 2005)

$$BTU/h = 75.56 * 155 * 0.53 * 0.982$$

$BTU/h = 6097.56$

***Nota:** El valor del FC lo obtenemos de una ecuación la cual veremos más adelante.

- Conducción a través de paredes:

Para este cálculo tenemos una sola pared de concreto pesado + acabado (Oeste), y las tres restantes son prefabricadas, por lo que utilizamos la pared de lámina (norte, sur y este); esto solo varia el coeficiente U en los cálculos. Además, debemos de calcular el CLTD corregido que lo obtenemos de la ecuación 31 del proyecto.

$$BTU/h = Coef.U (tabla 16) * A (pared) * CLTD (tabla 22) * FC$$

Ecuación 52. Ganancia por conducción en paredes. (Pita, 2005)

- Pared Oeste:

$$DTCEe = [(19 - 1) * 0.65 + (78 - 78) + (79.6 - 85)]$$

$$DTCEe = 6.3$$

$$BTU/h = 0.53 * 72.44 * 6.3 * 0.982$$

$$BTU/h = 239.78$$

- Pared Sur:

$$DTCEe = [(19 - 1) * 0.65 + (78 - 78) + (79.6 - 85)]$$

$$DTCEe = 6.3$$

$$BTU/h = 0.92 * 215.28 * 6.3 * 0.982$$

$$BTU/h = 1225.30$$

- Pared Este:

$$DTCEe = [(24 - 1) * 0.65 + (78 - 78) + (79.6 - 85)]$$

$$DTCEe = 9.55$$

$$BTU/h = 0.92 * 99.78 * 9.55 * 0.982$$

$$BTU/h = 860.88$$

- Pared Norte:

$$DTCEe = [(26 - 1) * 0.65 + (78 - 78) + (79.6 - 85)]$$

$$DTCEe = 10.85$$

$$BTU/h = 0.92 * 215.28 * 10.85 * 0.982$$

$$BTU/h = 2110.24$$

Para efectos de este espacio no tenemos cargas por piso, ni techos.

- Puerta:

$$DTCEe = [(34 - 1) * 0.65 + (78 - 78) + (79.6 - 85)]$$

$$DTCEe = 16.05$$

$$BTU/h = 0.53 * 20.83 * 16.05 * 0.982$$

$$BTU/h = 174.00$$

DATOS CONDUCCIÓN												
CONDUCCIÓN	MES	ORIENTACIÓN	HORA (h)	FACTOR SOLAR	ÁREA		COEF. SOMBRA	FC	BTU/h	Kcal/h	TON	
					m²	FT²						
Vidrio	Octubre	O	16	155	7.02	75.56	0.53	0.982	6097.56	1537.58	0.51	
						0.00		0.982	0.00	0.00	0.00	
							0.00		0.982	0.00	0.00	
							0.00		0.982	0.00	0.00	
TIPO	CONSTRUCCIÓN	ORIENTACIÓN	U (BTU/h F2/°F)	ÁREA		CLTD, °F		FC	BTU/h	Kcal/h	TON	
				m²	FT²	Tabla	Corregida					
Paredes	Pared Tipo B	Bloque de concreto pesado + (Acabado)	O	0.53	6.73	72.44	19	6.36	0.982	239.71	60.45	0.02
	Pared Tipo G	Pared de lámina (Corfina metálica)	S	0.92	20.00	215.28	19	6.36	0.982	1236.55	311.81	0.10
	Pared Tipo G	Pared de lámina (Corfina metálica)	E	0.92	9.27	99.78	24	9.61	0.982	866.21	218.43	0.07
	Pared Tipo G	Pared de lámina (Corfina metálica)	N	0.92	20.00	215.28	26	10.91	0.982	2121.75	535.03	0.18
TIPO	CONSTRUCCIÓN	U (BTU/h F2/°F)	ÁREA		CLTD, °F		FC	BTU/h	Kcal/h	TON		
			m²	FT²	Tabla	Corregida						
Techo					0		-7	0.982	0	0	8.19E-05	
TIPO	CONSTRUCCIÓN	U (BTU/h F2/°F)	ÁREA		CLTD, °F		FC	BTU/h	Kcal/h	TON		
			m²	FT²	Tabla	Corregida						
Pisos					0		-7	0.982	0.00	0.00	0.00E+00	
CONSTRUCCIÓN	ESPESOR (in)	U (BTU/h F2/°F)	ÁREA		CLTD, °F		FC	BTU/h	Kcal/h	TON		
			m²	FT²	Tabla	Corregida						
Puerta	Madera	1 1/4	0.53	1.935	20.83	34	16.11	0.982	174.64	44.04	0.01	

*Nota: 1 BTU/h = 0.252164 Kcal/h - 1 TON = 12 000 BTU/h
3.28 FT = 1 m - 10.764 FT² = 1 m²

Figura 9. Datos de conducción. Elaboración Propia.

Factor de corrección.

El factor de corrección se determina mediante los parámetros de coeficiente de transferencia de calor, así como el área de las paredes y vidrios del recinto, este valor es igual a lo largo de toda la hoja de cálculo y se encuentra con la siguiente ecuación:

$$FC = 1 - 0.02 * K$$

Ecuación 53. Valor de FC. (Pita, 2005)

A su vez el mismo depende del factor K, el cual se desarrolla bajo la siguiente fórmula:

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

Ecuación 54. Valor del factor K. (Pita, 2005)

Donde;

- U_w = Coeficiente de transferencia de calor en paredes.
- A_w = Área de ganancia de calor en paredes.
- U_g = Coeficiente de transferencia de calor en vidrios.
- A_g = Área de ganancia de calor en vidrios.
- L = Perímetro del recinto.

Para nuestro ejercicio obtenemos los siguientes datos:

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

$$K = (0.53 * 72.44 + 0.53 * 75.56) / 88.56$$

$$K = 0.885$$

Por lo tanto, el calor de FC es igual a:

$$FC = 1 - 0.02 * K$$

$$FC = 1 - 0.02 * 0.885$$

$$FC = 0.9823$$

$K = (U_w A_w + U_g A_g) / L$			
$U_w =$	0.53	$A_w =$	72.44
$U_g =$	0.53	$A_g =$	75.56
$L =$	88.56		
$K =$	0.89		

$F_c = 1 - 0.02 * K$	
$K =$	0.89
$F_c =$	0.982

Figura 10. Factor de Corrección (FC) y valor K. Elaboración propia.

Datos por transmisión.

En este punto determinaremos los datos de transmisión por los diferentes medios, tanto en calor latente como sensible, obtendremos el cálculo a través de vidrios, luces y

equipos electrónicos y personas; adicionalmente tendremos las ganancias directas por medio de equipo motorizado y motores eléctricos.

- Transmisión a través de vidrios:

Estos datos se obtienen por medio de las fórmulas adjuntas para cada uno de los pasos, adicionalmente para el cálculo de las cargas en vidrios se debe de aplicar la ecuación 33 para el cálculo del CLTD corregido.

$$BTU/h = A (\text{cristal}) * Coef.U (\text{tablas 12, 13 y 14}) * CLTD (\text{tabla 15})$$

Ecuación 55. Ganancia por transmisión en vidrios. (Pita, 2005)

- Vidrio Oeste:

$$DTCEe = [14 + (78 - 78) + (79.6 - 85)]$$

$$DTCEe = 8.6$$

$$BTU/h = 75.56 * 1.1 * 8.6 * 0.982$$

$$BTU/h = 701.93$$

- Vidrio Este:

$$DTCEe = [14 + (78 - 78) + (79.6 - 85)]$$

$$DTCEe = 8.6$$

$$BTU/h = 66.31 * 1.1 * 8.6 * 0.982$$

$$BTU/h = 616.00$$

- Transmisión a través de luces:

$$BTU/h = Watts (luces) * F.Conversión * F.Balastra * F.Carga de Enfriamiento * FC$$

Ecuación 56. Ganancia de calor por luminarias. (Pita, 2005)

$$BTU/h = (6 * 79 + 48) * 3.4 * 1.25 * 1 * 0.982$$

$BTU/h = 2178.567$

- Transmisión a través de personas:

$$BTU/h = [(N^{\circ} de Personas * C.Sensible (tabla 28)) + (N^{\circ} de Personas * C.Latente (tabla 28))] * F.Carga de Enfriamiento * FC$$

Ecuación 57. Ganancias por ocupantes. (Pita, 2005)

$$BTU/h = [(32 * 220) + (32 * 230)] * 1 * 0.982$$

$BTU/h = 14140.8$

- Transmisión a través de motores:

Para la ganancia por medio de la producción de calor por equipo motorizado se utiliza el valor directo de la tabla 28 y de igual forma para el tema de los motores eléctricos el dato se obtiene por medio de la tabla 3-16, ambos valores arrojan directamente el dato en BTU/h. Para nuestro cálculo no es requerido, dado que no tenemos motores, ni equipo eléctrico.

DATOS TRANSMISIÓN												
TRANSMISIÓN	DESCRIPCIÓN	ORIENTACIÓN	HORA (h)	U (BTU/h F2/F)	ÁREA		CLTD, °F		FC	BTU/h	Kcal/h	TON
					m²	FF²	Tabla	Corregida				
Vidrio	Vidrio sencillo.	O	16	1.1	7.02	75.56	14	8.66	0.982	706.74	178.21	0.06
	Vidrio sencillo.	E	16	1.1	6.16	66.31	14	8.66	0.982	620.16	156.38	0.05
						0.00	14	8.66	0.982	0.00	0.00	0.00
						0.00	14	8.66	0.982	0.00	0.00	0.00
Luces	WATTS		FACTOR DE CONVERSIÓN		FACTOR BALASTRA		FACTOR DE CARGA DE ENFRIAMIENTO		FC	BTU/h	Kcal/h	TON
	522		3.4		1.25		1		0.982	2179.20	549.52	0.18
Personas	N° DE PERSONAS		GANANC. CALOR SENSIBLE		GANANC. CALOR LATENTE		FACTOR DE CARGA DE ENFRIAMIENTO		FC	BTU/h	Kcal/h	TON
	32		220		230		1		0.982	14144.90	3566.84	1.18
Equipo Motorizado	BTU/h				Motores Eléctricos				BTU/h			
									0 0 0			

Figura 11. Datos de ganancia por transmisión en vidrios y ganancias por motores eléctricos y equipo motorizado. Elaboración propia.

- Cargas por infiltraciones:

Solo se realiza mediante uno de los dos métodos presentados, y se realiza la elección mediante el cual se apege más al tipo más predominante en el recinto, a continuación, se presentan ambas ecuaciones.

$$1) \text{ BTU/h} = \text{Pie de ranura} * \text{CFM/pie ranura (tabla 32)}$$

Ecuación 58. Infiltraciones por fisura (cerrado). (Pita, 2005)

$$2) \text{ BTU/h} = \text{N° de aperturas} * \text{CFM/apertura (tabla 33)}$$

Ecuación 59. Infiltraciones por aperturas. (Pita, 2005)

Para este ejemplo utilizamos el método por cantidad de aperturas, y se calcula mediante la segunda fórmula.

$$\text{BTU/h} = \text{N° de aperturas} * \text{CFM/apertura (tabla 33)}$$

$$\text{BTU/h} = 60 * 15$$

$$\text{BTU/h} = 900$$

Se estimada un total de 60 aperturas por ocupación del recinto, contemplando ingresos y salidas del personal y la vida estudiantil.

Infiltraciones (Cerrado) fisuras	FT RANQUERA DE VENTANA	CFM / FT DE FISURA	Infiltraciones (Abierto)	Nº APERTURAS	CFM / Apertura	BTU/h	Kcal/h	TON
				60	15	900.00	224.95	0.08

Figura 12. Cargas térmicas por infiltraciones. Elaboración propia.

- Ventilación por ocupantes:

Al igual que las cargas por infiltración se cuenta con varias opciones para la obtención de la carga térmica por medio de ventilación, para este caso tenemos tres fórmulas a elegir, la escogencia de la ecuación a utilizar es con respecto a las condiciones de diseño y se presentan los métodos a seleccionar.

$$1) \text{ BTU/h} = \text{N}^\circ \text{ de Personas} * \text{CFM/persona (tabla 3 - 22)}$$

Ecuación 60. Carga de ventilación por personas. (Pita, 2005)

$$2) \text{ BTU/h} = \text{N}^\circ \text{ de Personas} * \text{CFM/persona (tabla 3 - 22)}$$

Ecuación 61. Carga de ventilación por área de piso. (Pita, 2005)

$$3) \text{ BTU/h} = \text{N}^\circ \text{ de Cambios/h} * \text{Vol. Local} / 60$$

Ecuación 62. Carga de ventilación por cambios por hora. (Pita, 2005)

Se selecciona el primer método debido a que la cantidad de estudiantes varia muy poco según su ocupación plena, lo que no da un parámetro estable y fácil de medir.

$$\text{BTU/h} = \text{N}^\circ \text{ de Personas} * \text{CFM/persona (tabla 3 - 22)}$$

$$\text{BTU/h} = 32 * 10$$

$$\text{BTU/h} = 320$$

Ventilación Por Personas		Ventilación Por Área de Piso		Ventilación Por Cambios / Hora			BTU/h Kcal/h TON		
# PERSONAS	CFM / PERSONA	ÁREA PISO (F12)	CFM / F12 PISO	# CAMBIOS DE AIRE	VOLUMEN DEL RECINTO	CFM =	BTU/h	Kcal/h	TON
32	10						320.00	80.69	0.03

Figura 13. Cargas térmicas por ventilación. Elaboración propia.

- Cargas por ductos:

Este es el último paso en la hoja de cálculo y solo se realiza cuando tenemos equipos de climatización que distribuyen los fluidos por medio de ductos; se efectúan dos cálculos los cuales son los de ganancia por ductos de retorno y las ganancias por ductos de suministro, para el presente proyecto no contamos con este tipo de unidades por lo que no se desarrollaron en la obtención de las cargas térmicas de ninguno de los recintos a climatizar.

Ganancia por Ducto de Retorno	U (BTU/h F12/F)	ÁREA DEL RECINTO (F12)	TEMPERATURA DEL ÁTICO	TEMPERATURA INTERIOR	BTU/h	Kcal/h	TON
					0	0	0
Ganancia por Ducto de Suministro	U (BTU/h F12/F)	ÁREA DEL RECINTO (F12)	TEMPERATURA DEL ÁTICO	TEMPERATURA DE SUMINISTRO	BTU/h	Kcal/h	TON
					0	0	0

Figura 14. Cargas térmicas por ductería. Elaboración propia.

Sumatoria de datos por conducción y transmisión.

Al realizar la sumatoria de las cargas por conducción (10707.76 BTU/h) más los obtenidos por transmisión (18857.3 BTU/h), logramos calcular la carga total del recinto a climatizar (Aula 1402).

Carga térmica Aula 1402	
Cargas por Conducción	10707.76
Cargas por Transmisión	18857.3
Total	29565.06

Tabla 9. Carga total del recinto, Aula 1402. Elaboración propia.

Este valor de carga es similar al obtenido en la hoja de cálculo, esto por el tema de los decimales antes mencionado.

INICIO	Cargas Totales de Enfriamiento	BTU/h	Kcal/h	TONELADAS
		29607.42	7465.92	2.47

Figura 15. Sumatoria de cargas térmicas. Elaboración propia.

Presentación del cálculo en todos los recintos.

Al ejecutar las ecuaciones y procedimientos del ejemplo anterior en cada uno de los recintos, obtenemos los datos para cada uno de ellos, esto lo podremos encontrar en las siguientes tabulaciones a continuación:

Área administrativa (Recepción):

Lugar	BTU/H	KCAL/H	TON
Recepción (4 Unidades)	161522.36	40730.12	13.46
Archivo	12166.98	3068.07	1.01
Call Center	15359.27	3873.05	1.28
Oficina 1 Recepción	9965.16	2512.85	0.83
Oficina 2 Recepción	12051.10	3038.85	1.00

Tabla 10. Cálculos térmicos unidades del área de recepción. Elaboración Propia.

Direcciones de carrera:

Lugar	BTU/H	KCAL/H	TON
Directores de Carrera Ala Oeste (3 Unidades)	26754.15	6746.43	2.23
Directores de Carrera Ala Este (4 Unidades)	65758.02	16581.81	5.48

Tabla 11. Cálculos térmicos unidades del área de directores de carrera, piso 1. Elaboración Propia.

Área de pagos (Cajas):

Lugar	BTU/H	KCAL/H	TON
Área de Cajas (3 Unidades)	82032.60	20685.67	6.84
Oficina Área de Cajas	7459.69	1881.07	0.62

Tabla 12. Cálculos térmicos unidades del área de cajas. Elaboración Propia.

Área de gerencia (Piso 1):

Lugar	BTU/H	KCAL/H	TON
Gerencia Oficinas Pequeñas (7 Unidades)	49848.89	12570.10	4.15
Gerencia Oficinas Medianas (2 Unidades)	30478.10	7685.48	2.54
Gerencia Oficinas Grandes (3 Unidades)	55103.61	13895.15	4.59

Tabla 13. Cálculos térmicos unidades del área de gerencia. Elaboración Propia.

Área de Postgrados (Piso 2):

Lugar	BTU/H	KCAL/H	TON
Recepción Piso 2 (Postgrados)	13704.90	3455.88	1.14
Postgrados Derecho	8282.87	2088.64	0.69
Postgrados Adm. de Empresas	8060.70	2032.62	0.67
Aula 1218	27787.95	7007.12	2.32
Aula 1219	27773.59	7003.50	2.31
Postgrados Sala 1	27773.59	7003.50	2.31
Postgrados Sala 3	27773.59	7003.50	2.31
Postgrados Sala 2	19296.71	4865.94	1.61
Postgrados Sala 4	29317.33	7392.78	2.44
Postgrados Sala 5	24350.23	6140.25	2.03
Postgrados Sala 6	29317.33	7392.78	2.44
Postgrados Sala 7	17861.94	4504.14	1.49

Tabla 14. Cálculos térmicos unidades del área de Postgrados. Elaboración Propia.

Aulas y Laboratorios sector norte (Piso 2).:

Lugar	BTU/H	KCAL/H	TON
Aula 1214	42238.49	10651.03	3.52
Aula 1213 (2 Unidades)	73133.90	18441.74	6.09
Aula 1217	50431.16	12716.92	4.20
Departamento de TI, Piso 2	33630.14	8480.31	2.80
Oficina Departamento TI	10055.85	2535.72	0.84
Centro de Simulación (Farmacia)	14815.76	3736.00	1.23
Dirección de Carrera Piso 2	20421.00	5149.44	1.70
Dirección de Farmacia, Piso 2	10675.55	2691.99	0.89

Tabla 15. Cálculos térmicos unidades del sector norte, piso 2. Elaboración Propia.

Aulas sector sur (Piso 3):

Lugar	BTU/H	KCAL/H	TON
Aula 1301 (2 Unidades)	62446.66	15746.80	5.20
Aula 1302 (2 Unidades)	62836.44	15845.09	5.24
Aula 1303 (2 Unidades)	62836.44	15845.09	5.24
Aula 1304	49701.05	12532.82	4.14
Aula 1305	32364.60	8161.19	2.70
Aula 1306 (2 Unidades)	61115.29	15411.08	5.09
Laboratorio MAC (2 Unidades)	63300.50	15962.11	5.28
Aula 1309	20526.42	5176.02	1.71
Aula 1310	17613.57	4441.51	1.47
Laboratorio Lenovo (1311) (2 unidades)	61811.24	15586.57	5.15

Tabla 16. Cálculos térmicos unidades sector sur, piso 3. Elaboración Propia.

Aulas sector norte (Piso 3):

Lugar	BTU/H	KCAL/H	TON
Aula 1312	14802.73	3732.72	1.23
Aula 1313	16796.73	4235.53	1.40
Aula 1314	17377.97	4382.10	1.45
Aula 1315	15726.21	3965.58	1.31
Aula 1316	28908.46	7289.67	2.41
Aula 1317	22514.07	5677.24	1.88

Aula 1318	18339.52	4624.57	1.53
Aula 1319	64545.19	16275.97	5.38
Aula 1320	13964.16	3521.26	1.16
Aula 1321	20375.89	5138.07	1.70
Aula 1322	20718.71	5224.51	1.73
Aula 1323	14818.22	3736.62	1.23

Tabla 17. Cálculos térmicos unidades sector norte, piso 3. Elaboración Propia.

Aulas sector sur (Piso 4):

Lugar	BTU/H	KCAL/H	TON
Aula 1401	29048.97	7325.10	2.42
Aula 1402	29438.76	7423.40	2.45
Aula 1403	29438.76	7423.40	2.45
Aula 1404	25310.57	6382.41	2.11
Aula 1405	16637.30	4195.33	1.39
Aula 1406	32271.56	8137.73	2.69
Aula 1407	17525.16	4419.21	1.46
Aula 1408	20436.44	5153.33	1.70
Aula 1409	20526.42	5176.02	1.71
Aula 1410	17613.57	4441.51	1.47
Aula 1411	30551.31	7703.94	2.55

Tabla 18. Cálculos térmicos unidades sector sur, piso 4. Elaboración Propia.

Aulas sector norte (Piso 4):

Lugar	BTU/H	KCAL/H	TON
Aula 1412	14802.73	3732.72	1.23
Aula 1413	16796.73	4235.53	1.40
Aula 1414	17377.97	4382.10	1.45
Aula 1415	15726.21	3965.58	1.31
Aula 1416	28908.46	7289.67	2.41
Aula 1417	22514.07	5677.24	1.88
Aula 1418	18339.52	4624.57	1.53
Aula 1419	31125.06	7848.62	2.59
Aula 1420	13964.16	3521.26	1.16
Aula 1421	20375.89	5138.07	1.70
Aula 1422	20718.71	5224.51	1.73

Aula 1423	14818.22	3736.62	1.23
-----------	----------	---------	------

Tabla 19. Cálculos térmicos unidades sector norte, piso 4. Elaboración Propia.

Aulas sector sur (Piso 5):

Lugar	BTU/H	KCAL/H	TON
Aula 1501	23776.47	5995.57	1.98
Aula 1502	37300.32	9405.80	3.11
Aula 1503	22685.01	5720.34	1.89
Aula 1504	24743.93	6239.53	2.06
Aula 1505	23776.47	5995.57	1.98
Aula 1506	36902.97	9305.60	3.08
Aula 1507	17829.47	4495.95	1.49
Aula 1510	20670.51	5212.36	1.72
Aula 1511	21184.41	5341.95	1.77
Aula 1512	21184.41	5341.95	1.77

Tabla 20. Cálculos térmicos unidades sector sur, piso 5. Elaboración Propia.

Aulas sector norte (Piso 5):

Lugar	BTU/H	KCAL/H	TON
Aula 1512	21184.41	5341.95	1.77
Aula 1513	21184.41	5341.95	1.77
Aula 1514	27983.23	7056.36	2.33
Aula 1515	25404.02	6405.98	2.12
Aula 1516	25145.17	6340.71	2.10
Aula 1517	19563.92	4933.32	1.63
Aula 1518	19594.91	4941.13	1.63
Aula 1519	25078.61	6323.92	2.09
Aula 1520	25145.17	6340.71	2.10
Aula 1521	19563.92	4933.32	1.63
Sala de Juicios	32960.02	8311.33	2.75

Tabla 21. Cálculos térmicos unidades sector norte, piso 5. Elaboración Propia.

Laboratorio de radio y televisión (Piso 5):

Lugar	BTU/H	KCAL/H	TON
Sala de Estudio (Periodismo)	8780.60	2214.15	0.73
Estudio de Radio	8321.60	2098.41	0.69
Estudio de Radio (Control)	8332.65	2101.19	0.69
Estudio de Televisión	30376.14	7659.77	2.53
Laboratorio de Periodismo	27312.63	6887.26	2.28

Tabla 22. Cálculos térmicos unidades laboratorio de radio y televisión, piso 5. Elaboración Propia.

Cálculo de cargas térmicas totales

Se muestra a continuación la sumatoria de cargas en todos los espacios individuales para dar la carga total, esto con la finalidad de establecer el diseño de los equipos de climatización, el mismo es vital para el dimensionamiento final y la selección de las unidades condensadoras quienes llevarán la carga térmica.

Carga total del edificio:

Cargas Totales Medidas		
BTU/H	KCAL/H	TON
2887710.10	728176.53	240.64

Tabla 23. Cálculos térmicos totales. Elaboración Propia.

Adicionalmente a estos datos, tenemos los cálculos térmicos por pisos, esto es importante para realizar la ramificación y selección de los condensadores por piso y las unidades evaporadoras que se conectarán al mismo.

Carga total del piso 1:

Cargas Totales Piso 1			
BTU/H	KCAL/H	TON	# Unidades
502100	126611.54	41.84	31

Tabla 24. Cálculos térmicos totales piso 1. Elaboración Propia.

Carga total del piso 2:

Cargas Totales Piso 2			
BTU/H	KCAL/H	TON	# Unidades
472900	119248.36	39.41	21

Tabla 25. Cálculos térmicos totales piso 2. Elaboración Propia.

Carga total del piso 3:

Cargas Totales Piso 3			
BTU/H	KCAL/H	TON	# Unidades
722800	182264.14	60.23	29

Tabla 26. Cálculos térmicos totales piso 3. Elaboración Propia.

Carga total del piso 4:

Cargas Totales Piso 4			
BTU/H	KCAL/H	TON	# Unidades
459200	115793.71	38.27	23

Tabla 27. Cálculos térmicos totales piso 4. Elaboración Propia.

Carga total del piso 5:

Cargas Totales Piso 5			
BTU/H	KCAL/H	TON	# Unidades
502100	126611.54	41.84	25

Tabla 28. Cálculos térmicos totales piso 5. Elaboración Propia.

Selección de unidades evaporadoras

Estas unidades se seleccionan respecto a las cargas térmicas obtenidas por recinto, estos datos se pueden observar en las tablas 9 a la 21, los equipos propuestos tienen una capacidad nominal menor a la calculada, esto contemplando que se cumpla con lo establecido por el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), donde se expresa que los equipos alcanzan su punto máximo de eficiencia al operar al cien por ciento de su capacidad.

A continuación, se presenta la tabla 28 con la propuesta de las unidades evaporadoras.

Propuesta Unidades Interiores (Marca Daikin)						
N°	Ubicación	# Equipo	Capacidad BTU/h	Modelo	Tipo de Equipo	Q (KW)
1	Recepción	UE-1.0	38200	FXHQ100MAVE	Piso Cielo	11.2
2	Recepción	UE-1.1	38200	FXHQ100MAVE	Piso Cielo	11.2
3	Recepción	UE-1.2	38200	FXHQ100MAVE	Piso Cielo	11.2
4	Recepción	UE-1.3	38200	FXHQ100MAVE	Piso Cielo	11.2
5	Archivo	UE-1.4	12300	FXFQ32AVE	Cassette 4 Vías	3.6
6	Call Center	UE-1.5	12300	FXFQ32AVE	Cassette 4 Vías	3.6
7	Oficina 1 Recepción	UE-1.6	9600	FXEQ25AVE	Cassette 1 Vía	2.8
8	Oficina 2 Recepción	UE-1.7	12300	FXFQ32AVE	Cassette 4 Vías	3.6
9	Área de Cajas	UE-1.8	24200	FXFQ63AVE	Cassette 4 Vías	7.1
10	Área de Cajas	UE-1.9	24200	FXFQ63AVE	Cassette 4 Vías	7.1
11	Área de Cajas	UE-1.10	34100	FXFQ90AVE	Cassette 4 Vías	10.0
12	Oficina Área de Cajas	UE-1.11	7500	FXEQ20AVE	Cassette 1 Vía	2.2
13	Directores de Carrera Ala Oeste	UE-1.12	7500	FXEQ20AVE	Cassette 1 Vía	2.2
14	Directores de Carrera Ala Oeste	UE-1.13	12300	FXCQ32MVE	Cassette 2 Vías	3.6

15	Directores de Carrera Ala Oeste	UE-1.14	12300	FXCQ32MVE	Cassette 2 Vías	3.6
16	Directores de Carrera Ala Este	UE-1.15	9600	FXEQ25AVE	Cassette 1 Vía	2.8
17	Directores de Carrera Ala Este	UE-1.16	9600	FXEQ25AVE	Cassette 1 Vía	2.8
18	Directores de Carrera Ala Este	UE-1.17	19100	FXCQ50MVE	Cassette 2 Vías	5.6
19	Directores de Carrera Ala Este	UE-1.18	19100	FXCQ50MVE	Cassette 2 Vías	5.6
20	Gerencia Oficinas Pequeñas	UE-1.19	7500	FXEQ20AVE	Cassette 1 Vía	2.2
21	Gerencia Oficinas Pequeñas	UE-1.20	7500	FXEQ20AVE	Cassette 1 Vía	2.2
22	Gerencia Oficinas Pequeñas	UE-1.21	7500	FXEQ20AVE	Cassette 1 Vía	2.2
23	Gerencia Oficinas Pequeñas	UE-1.22	7500	FXEQ20AVE	Cassette 1 Vía	2.2
24	Gerencia Oficinas Pequeñas	UE-1.23	7500	FXEQ20AVE	Cassette 1 Vía	2.2
25	Gerencia Oficinas Pequeñas	UE-1.24	7500	FXEQ20AVE	Cassette 1 Vía	2.2
26	Gerencia Oficinas Pequeñas	UE-1.25	7500	FXEQ20AVE	Cassette 1 Vía	2.2
27	Gerencia Oficinas Medianas	UE-1.26	12300	FXEQ32AVE	Cassette 1 Vía	3.6
28	Gerencia Oficinas Medianas	UE-1.27	12300	FXEQ32AVE	Cassette 1 Vía	3.6
29	Gerencia Oficinas Grandes	UE-1.28	15400	FXFQ40AVE	Cassette 4 Vías	4.5
30	Gerencia Oficinas Grandes	UE-1.29	15400	FXFQ40AVE	Cassette 4 Vías	4.5
31	Gerencia Oficinas Grandes	UE-1.30	15400	FXFQ40AVE	Cassette 4 Vías	4.5
32	Recepción Piso 2 (Postgrados)	UE-2.0	12300	FXEQ32AVE	Cassette 1 Vía	3.6
33	Postgrados Derecho	UE-2.1	7500	FXEQ20AVE	Cassette 1 Vía	2.2
34	Postgrados Adm. de Empresas	UE-2.2	7500	FXEQ20AVE	Cassette 1 Vía	2.2
35	Aula 1218	UE-2.3	24200	FXFQ63AVE	Cassette 4 Vías	7.1
36	Aula 1219	UE-2.4	24200	FXFQ63AVE	Cassette 4 Vías	7.1
37	Postgrados Sala 1	UE-2.5	24200	FXFQ63AVE	Cassette 4 Vías	7.1
38	Postgrados Sala 3	UE-2.6	24200	FXFQ63AVE	Cassette 4 Vías	7.1
39	Postgrados Sala 2	UE-2.7	19100	FXFQ50AVE	Cassette 4 Vías	5.6
40	Postgrados Sala 4	UE-2.8	27300	FXFQ71AVE	Cassette 4 Vías	8.0
41	Postgrados Sala 5	UE-2.9	24200	FXFQ63AVE	Cassette 4 Vías	7.1
42	Postgrados Sala 6	UE-2.10	27300	FXFQ71AVE	Cassette 4 Vías	8.0
43	Postgrados Sala 7	UE-2.11	15400	FXFQ40AVE	Cassette 4 Vías	4.5
44	Aula 1214	UE-2.12	38200	FXFQ100AVE	Cassette 4 Vías	11.2
45	Aula 1213	UE-2.13	34100	FXFQ90AVE	Cassette 4 Vías	10.0
46	Aula 1213	UE-2.14	34100	FXFQ90AVE	Cassette 4 Vías	10.0
47	Aula 12137	UE-2.15	47800	FXFQ125AVE	Cassette 4 Vías	14.0
48	Departamento de TI, Piso 2	UE-2.16	30700	FXFQ80AVE	Cassette 4 Vías	9.0
49	Oficina Departamento TI	UE-2.17	9600	FXEQ25AVE	Cassette 1 Vía	2.8
50	Centro de Simulación (Farmacia)	UE-2.18	12300	FXCQ32MVE	Cassette 2 Vías	3.6

51	Dirección de Carreras (Piso 2)	UE-2.19	19100	FXFQ50AVE	Cassette 4 Vías	5.6
52	Dirección de Carreras de Farmacia	UE-2.20	9600	FXCQ25MVE	Cassette 2 Vías	2.8
53	Aula 1301	UE-3.0	30700	FXCQ80MVE	Cassette 2 Vías	9.0
54	Aula 1301	UE-3.1	30700	FXCQ80MVE	Cassette 2 Vías	9.0
55	Aula 1302	UE-3.2	30700	FXCQ80MVE	Cassette 2 Vías	9.0
56	Aula 1302	UE-3.3	30700	FXCQ80MVE	Cassette 2 Vías	9.0
57	Aula 1303	UE-3.4	30700	FXCQ80MVE	Cassette 2 Vías	9.0
58	Aula 1303	UE-3.5	30700	FXCQ80MVE	Cassette 2 Vías	9.0
59	Aula 1304	UE-3.6	47800	FXFQ125AVE	Cassette 4 Vías	14.0
60	Aula 1305	UE-3.7	30700	FXCQ80MVE	Cassette 2 Vías	9.0
61	Aula 1306	UE-3.8	30700	FXCQ80MVE	Cassette 2 Vías	9.0
62	Aula 1306	UE-3.9	30700	FXCQ80MVE	Cassette 2 Vías	9.0
63	Laboratorio MAC	UE-3.10	30700	FXFQ80AVE	Cassette 4 Vías	9.0
64	Laboratorio MAC	UE-3.11	30700	FXFQ80AVE	Cassette 4 Vías	9.0
65	Aula 1309	UE-3.12	19100	FXFQ50AVE	Cassette 4 Vías	5.6
66	Aula 1310	UE-3.13	15400	FXFQ40AVE	Cassette 4 Vías	4.5
67	Laboratorio Lenovo (1311)	UE-3.14	30700	FXFQ80AVE	Cassette 4 Vías	9.0
68	Laboratorio Lenovo (1311)	UE-3.15	30700	FXFQ80AVE	Cassette 4 Vías	9.0
69	Aula 1312	UE-3.16	12300	FXFQ32AVE	Cassette 4 Vías	3.6
70	Aula 1313	UE-3.17	15400	FXFQ40AVE	Cassette 4 Vías	4.5
71	Aula 1314	UE-3.18	15400	FXFQ40AVE	Cassette 4 Vías	4.5
72	Aula 1315	UE-3.19	12300	FXFQ32AVE	Cassette 4 Vías	3.6
73	Aula 1316	UE-3.20	27300	FXFQ71AVE	Cassette 4 Vías	8.0
74	Aula 1317	UE-3.21	19100	FXFQ50AVE	Cassette 4 Vías	5.6
75	Aula 1318	UE-3.22	15400	FXFQ40AVE	Cassette 4 Vías	4.5
76	Aula 1319	UE-3.23	30700	FXFQ80AVE	Cassette 4 Vías	9.0
77	Aula 1319	UE-3.24	30700	FXFQ80AVE	Cassette 4 Vías	9.0
78	Aula 1320	UE-3.25	12300	FXFQ32AVE	Cassette 4 Vías	3.6
79	Aula 1321	UE-3.26	19100	FXFQ50AVE	Cassette 4 Vías	5.6
80	Aula 1322	UE-3.27	19100	FXFQ50AVE	Cassette 4 Vías	5.6
81	Aula 1323	UE-3.28	12300	FXFQ32AVE	Cassette 4 Vías	3.6
82	Aula 1401	UE-4.0	27300	FXFQ71AVE	Cassette 4 Vías	8.0
83	Aula 1402	UE-4.1	27300	FXFQ71AVE	Cassette 4 Vías	8.0
84	Aula 1403	UE-4.2	27300	FXFQ71AVE	Cassette 4 Vías	8.0
85	Aula 1404	UE-4.3	24200	FXFQ63AVE	Cassette 4 Vías	7.1
86	Aula 1405	UE-4.4	15400	FXCQ40MVE	Cassette 2 Vías	4.5

87	Aula 1406	UE-4.5	30700	FXFQ80AVE	Cassette 4 Vías	9.0
88	Aula 1407	UE-4.6	15400	FXFQ40AVE	Cassette 4 Vías	4.5
89	Aula 1408	UE-4.7	19100	FXFQ50AVE	Cassette 4 Vías	5.6
90	Aula 1409	UE-4.8	19100	FXFQ50AVE	Cassette 4 Vías	5.6
91	Aula 1410	UE-4.9	15400	FXFQ40AVE	Cassette 4 Vías	4.5
92	Aula 1411	UE-4.10	27300	FXFQ71AVE	Cassette 4 Vías	8.0
93	Aula 1412	UE-4.11	12300	FXFQ32AVE	Cassette 4 Vías	3.6
94	Aula 1413	UE-4.12	15400	FXFQ40AVE	Cassette 4 Vías	4.5
95	Aula 1414	UE-4.13	15400	FXFQ40AVE	Cassette 4 Vías	4.5
96	Aula 1415	UE-4.14	12300	FXFQ32AVE	Cassette 4 Vías	3.6
97	Aula 1416	UE-4.15	27300	FXFQ71AVE	Cassette 4 Vías	8.0
98	Aula 1417	UE-4.16	19100	FXFQ50AVE	Cassette 4 Vías	5.6
99	Aula 1418	UE-4.17	15400	FXFQ40AVE	Cassette 4 Vías	4.5
100	Aula 1419	UE-4.18	30700	FXFQ80AVE	Cassette 4 Vías	9.0
101	Aula 1420	UE-4.19	12300	FXFQ32AVE	Cassette 4 Vías	3.6
102	Aula 1421	UE-4.20	19100	FXFQ50AVE	Cassette 4 Vías	5.6
103	Aula 1422	UE-4.21	19100	FXFQ50AVE	Cassette 4 Vías	5.6
104	Aula 1423	UE-4.22	12300	FXFQ32AVE	Cassette 4 Vías	3.6
105	Aula 1501	UE-5.0	19100	FXFQ50AVE	Cassette 4 Vías	5.6
106	Aula 1502	UE-5.1	34100	FXFQ90AVE	Cassette 4 Vías	10.0
107	Aula 1503	UE-5.2	19100	FXFQ50AVE	Cassette 4 Vías	5.6
108	Aula 1504	UE-5.3	19100	FXFQ50AVE	Cassette 4 Vías	5.6
109	Aula 1505	UE-5.4	19100	FXFQ50AVE	Cassette 4 Vías	5.6
110	Aula 1506	UE-5.5	34100	FXFQ90AVE	Cassette 4 Vías	10.0
111	Aula 1507	UE-5.6	15400	FXFQ40AVE	Cassette 4 Vías	4.5
112	Aula 1510	UE-5.7	19100	FXFQ50AVE	Cassette 4 Vías	5.6
113	Aula 1511	UE-5.8	19100	FXFQ50AVE	Cassette 4 Vías	5.6
114	Aula 1512	UE-5.9	19100	FXFQ50AVE	Cassette 4 Vías	5.6
115	Aula 1513	UE-5.10	19100	FXFQ50AVE	Cassette 4 Vías	5.6
116	Aula 1514	UE-5.11	27300	FXFQ71AVE	Cassette 4 Vías	8.0
117	Aula 1515	UE-5.12	19100	FXFQ50AVE	Cassette 4 Vías	5.6
118	Aula 1516	UE-5.13	19100	FXFQ50AVE	Cassette 4 Vías	5.6
119	Aula 1517	UE-5.14	19100	FXFQ50AVE	Cassette 4 Vías	5.6
120	Aula 1518	UE-5.15	19100	FXFQ50AVE	Cassette 4 Vías	5.6
121	Aula 1519	UE-5.16	19100	FXFQ50AVE	Cassette 4 Vías	5.6
122	Aula 1520	UE-5.17	19100	FXFQ50AVE	Cassette 4 Vías	5.6
123	Aula 1521	UE-5.18	19100	FXFQ50AVE	Cassette 4 Vías	5.6

124	Sala de Jucios	UE-5.19	30700	FXFQ80AVE	Cassette 4 Vías	9.0
125	Sala de Estudio (Periodismo)	UE-5.20	7500	FXEQ20AVE	Cassette 1 Vía	2.2
126	Estudio de Radio	UE-5.21	7500	FXEQ20AVE	Cassette 1 Vía	2.2
127	Estudio de Radio (Control)	UE-5.22	7500	FXEQ20AVE	Cassette 1 Vía	2.2
128	Estudio de Televisión	UE-5.23	27300	FXFQ71AVE	Cassette 4 Vías	8.0
129	Laboratorio de Periodismo	UE-5.24	24200	FXFQ63AVE	Cassette 4 Vías	7.1

Tabla 29. Propuesta de unidades evaporadoras. Elaboración Propia.

Selección de unidades condensadoras

Una vez con la selección de las unidades evaporadoras, se procede a escoger las unidades condensadoras que llevarán la carga total y suministrarán la cantidad de refrigerante necesario para el adecuado intercambio de calor en las unidades interiores.

Para el presente proyecto se realizó la selección basado en cada uno de los pisos, previamente separadas las cargas de este modo y que podemos observar en las tablas 23, 24, 25, 26 y 27; cabe mencionar que para el piso #3 no se utilizó esta metodología ya que es el nivel que tiene más carga térmica, por lo que el dimensionamiento de las condensadoras se tuvo que separar en ala norte y sur, esto tiene una explicación y es que la combinación de los diversos condensadores para formar la cantidad necesarias de BTU/h (HP) sobrepasa las recomendaciones de fábrica y esto podría generar que los equipos pierdan eficiencia.

A continuación, se presenta la tabla con los condensadores seleccionados:

Propuesta Unidades Exteriores (Marca Daikin)							
Nº	Ubicación	# Equipo	Capacidad BTU/h	Modelo	HP	Q (KW)	Total, BTU/h
1	Azotea Norte	UC-1.0	154000	RXYQ16TATL	16	140	478000
2	Azotea Norte	UC-1.1	154000	RXYQ16TATL	16		
3	Azotea Norte	UC-1.2	171000	RXYQ18TATL	18		
4	Azotea Norte	UC-2.0	154000	RXYQ16TATL	16	129	440000
5	Azotea Norte	UC-2.1	154000	RXYQ16TATL	16		
6	Azotea Norte	UC-2.2	136000	RXYQ14TATL	14		
7	Azotea Norte	UC-3.1	136000	RXYQ14TATL	14	61.5	210000
8	Azotea Norte	UC-3.2	76400	RXQ8TATL	8		
9	Azotea Sur	UC-3.3	154000	RXQ16TATL	16	140	478000
10	Azotea Sur	UC-3.4	154000	RXQ16TATL	16		
11	Azotea Sur	UC-3.5	171000	RXQ18TATL	18		

12	Azotea Sur	UC-4.0	154000	RXQ16TATL	16	129	440000
13	Azotea Sur	UC-4.1	154000	RXYQ16TATL	16		
14	Azotea Sur	UC-4.2	136000	RXYQ14TATL	14		
15	Azotea Sur	UC-1.0	154000	RXYQ16TATL	16	145	495000
16	Azotea Sur	UC-1.1	171000	RXYQ18TATL	18		
17	Azotea Sur	UC-1.2	171000	RXYQ18TATL	18		

Tabla 30. Propuesta unidades condensadoras. Elaboración propia.

La sumatoria de las capacidades no es lineal, ya que al realizar las combinaciones los equipos pierden capacidad y esto es totalmente justificado, ya que se ramifica un tramo de tubería la cual es la que comunica los condensadores y esto trae consigo los difurcadores que tienen una pérdida considerable.

Propuesta planos mecánicos

Según la propuesta de los equipos se diseñan los planos mecánicos, de esta manera podemos identificar las ubicaciones de los equipos y tuberías de refrigeración, se consideran sus características físicas en los diferentes tipos de equipos (cassettes de 4, 2 y 1 vía, así como del piso cielo y condensador) para su representación en los diferentes pisos.

Se realizan modificaciones en los planos entregados ya que se encontraban desactualizados, con espacios sin remodelar y con ubicaciones de paredes incorrectas o faltantes.

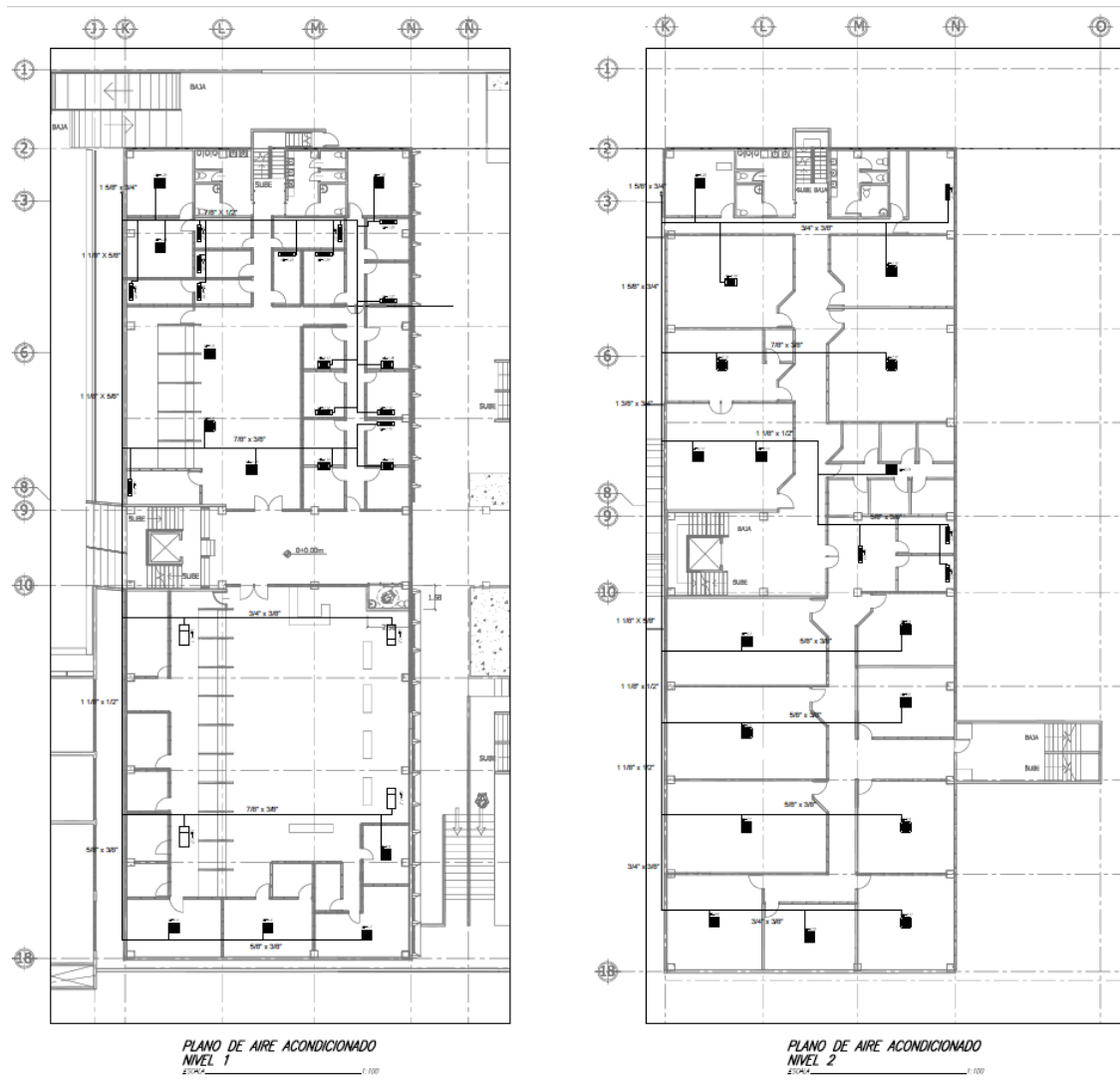


Figura 16. Distribución de equipos Niveles 1 y 2. Elaboración propia.

Adjunto:



Planta N1 y N2 -
DIAMETRO (IN).pdf

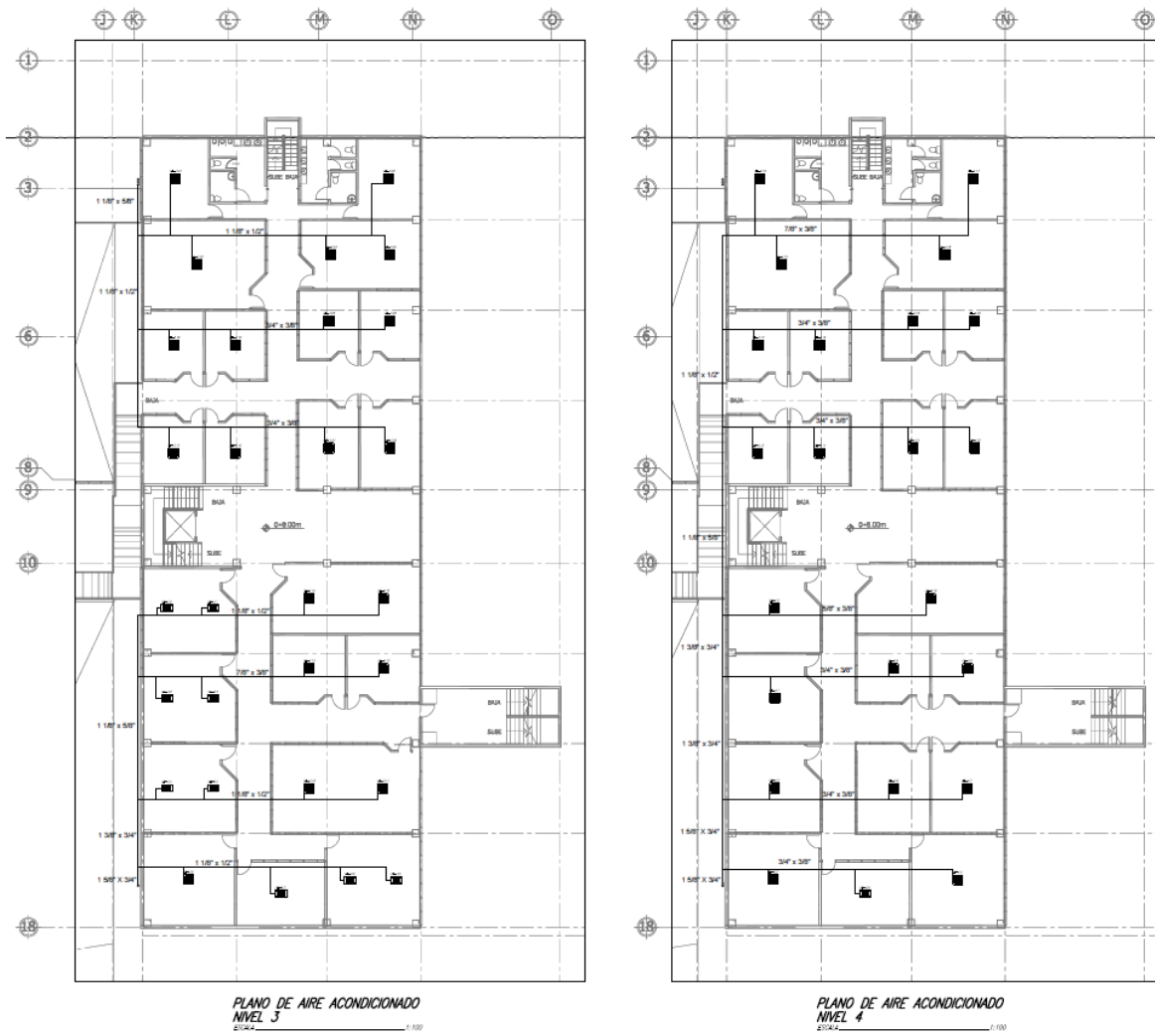


Figura 17. Distribución de equipos Niveles 3 y 4. Elaboración propia.

Adjunto:



Planta N3 y N4 -
DIAMETRO (IN).pdf

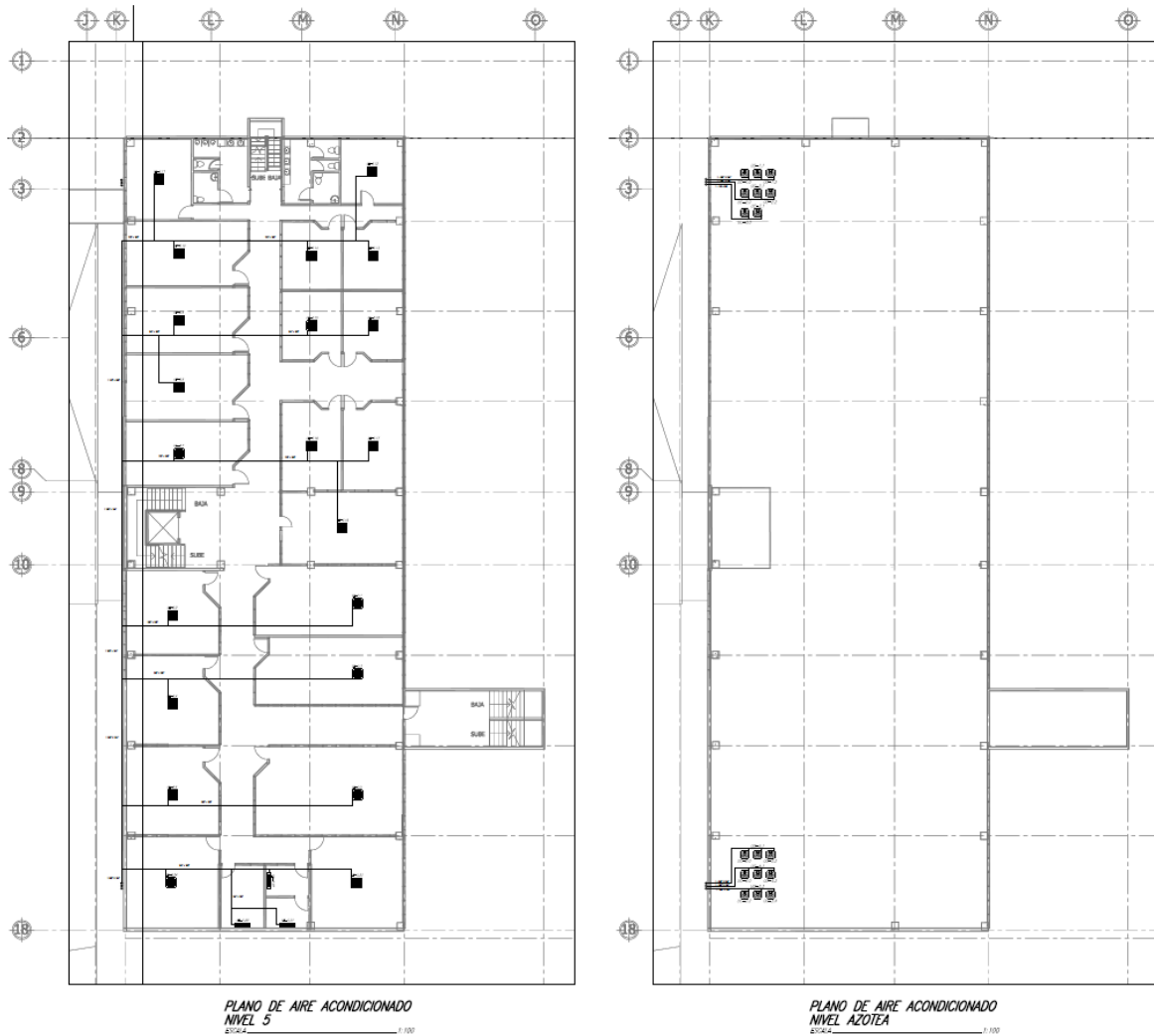


Figura 18. Distribución de equipos Niveles 5 y Azotea. Elaboración propia.

Adjunto:



Planta N5 y
NAZOTEA - DIAMET

La planta de la azotea se supone debido a que no se cuenta con planos de este espacio, se realiza la limpieza de la planta del piso 4, se colocan los equipos para que el tramo de tubería sea menor. El desarrollo de los cálculos del diámetro de las diferentes tuberías se

realiza mediante tablas, las cuales las podemos encontrar el manual de instalación de la empresa Daikin en el capítulo 9.3 (Selección del tamaño de tubería), 9.3.1 (Tuberías entre la unidad exterior y la tubería del (primer) kit de ramificación: A, B, C), 9.3.2 (Tuberías entre kits de ramificación de refrigerante: D).

9.3. Selección del tamaño de la tubería

Determine el tamaño adecuado a partir de las siguientes tablas y figuras de referencia (solo a modo de referencia).

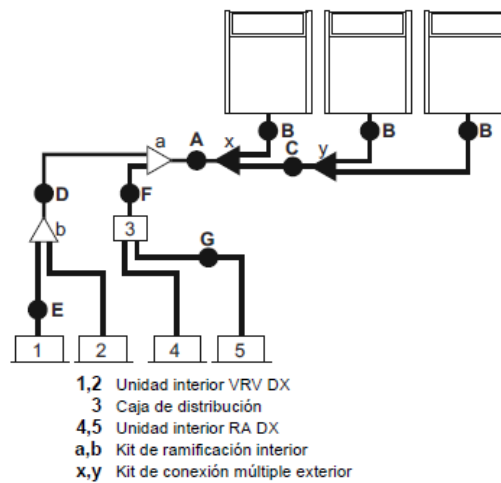


Figura 19. Selección de tamaños de tuberías. (Daikin, VRV IV, 2013)

9.3.1. Tuberías entre la unidad exterior y la tubería del (primer) kit de ramificación: A, B, C

Elija una opción de la siguiente tabla en función de la capacidad total de la unidad exterior, conectada aguas abajo.

Tipo de capacidad de la unidad exterior (CV)	Diámetro exterior de la tubería (mm)	
	Tubería de gas	Tubería de líquido
8	19,1	9,5
10	22,2	
12~16	28,6	12,7
18~22		15,9
24	34,9	19,1
26~34	41,3	
36~54		

Figura 20. Diámetro de tuberías salida del condensador. (Daikin, VRV IV, 2013)

9.3.2. Tuberías entre kits de ramificación de refrigerante: D

Elija una opción de la siguiente tabla en función de la capacidad total de la unidad interior, conectada aguas abajo. No deje que la tubería de conexión exceda el tamaño de la tubería de refrigerante seleccionado en el nombre del modelo del sistema general.

Índice de capacidad de unidad interior	Diámetro exterior de la tubería (mm)	
	Tubería de gas	Tubería de líquido
150	15,9	9,5
150≤x<200	19,1	
200≤x<290	22,2	
290≤x<420	28,6	12,7
420≤x<640		15,9
640≤x<920	34,9	19,1
>920	41,3	19,1

Figura 21. Diámetro de tuberías ramificación a evaporadores. (Daikin, VRV IV, 2013)

Análisis financiero

Carga eléctrica en KW de los equipos:

Para realizar el cálculo de consumos eléctricos que se aplicarán a las unidades de aire acondicionado, primero debemos de conocer su demanda en KW, su tiempo de uso normal por día, así como de las tarifas de la compañía eléctrica; para este caso específico la Compañía Nacional de Fuerza y Luz. Vamos a seleccionar los datos obtenidos de la página web de la compañía y nos da como referencia para la tarifa de comercios y Servicios (T-CO) un monto de ₡ 101.10 por hora. (CNFL, 2021). Se utiliza la tarifa para comercios y servicios la cual es una tarifa única durante todo el día, dado que fue imposible localizar recibos eléctricos de los últimos años, así como quien diera razón de que tipo de tarifa o costo aproximado actual o en años pasados sin pandemia.

Tarifa Comercios y Servicios T-CO	
Bloques de consumo	
Consumo menor o igual a 3.000 kWh cada kWh	₡101,10

Figura 22. Tarifa de consumo eléctrico. (CNFL, 2021)

La siguiente tabla muestra la ubicación del equipo propuesto, así como su modelo y consumo eléctrico en KW, esto tomando en cuenta la ecuación 41 (Potencia eléctrica), para el caso de los equipos ya el catálogo nos arroja el dato en KW, por lo que no se debe de hacer la conversión, los datos se extraen del catálogo de la marca comercial Daikin. (Daikin, PCVMT1541 aprov, VRV IV, 2015).

N°	Ubicación	# Equipo	Modelo	KW (Eléctrica)
1	Recepción	UE-1.0	FXHQ100MAVE	0.199
2	Recepción	UE-1.1	FXHQ100MAVE	0.199
3	Recepción	UE-1.2	FXHQ100MAVE	0.199
4	Recepción	UE-1.3	FXHQ100MAVE	0.199
5	Archivo	UE-1.4	FXFQ32AVE	0.053
6	Call Center	UE-1.5	FXFQ32AVE	0.053
7	Oficina 1 Recepción	UE-1.6	FXEQ25AVE	0.027
8	Oficina 2 Recepción	UE-1.7	FXFQ32AVE	0.053
9	Área de Cajas	UE-1.8	FXFQ63AVE	0.086
10	Área de Cajas	UE-1.9	FXFQ63AVE	0.086
11	Área de Cajas	UE-1.10	FXFQ90AVE	0.156
12	Oficina Área de Cajas	UE-1.11	FXEQ20AVE	0.026
13	Directores de Carrera Ala Oeste	UE-1.12	FXEQ20AVE	0.026
14	Directores de Carrera Ala Oeste	UE-1.13	FXCQ32MVE	0.095
15	Directores de Carrera Ala Oeste	UE-1.14	FXCQ32MVE	0.095
16	Directores de Carrera Ala Este	UE-1.15	FXEQ25AVE	0.027
17	Directores de Carrera Ala Este	UE-1.16	FXEQ25AVE	0.027
18	Directores de Carrera Ala Este	UE-1.17	FXCQ50MVE	0.132
19	Directores de Carrera Ala Este	UE-1.18	FXCQ50MVE	0.132
20	Gerencia Oficinas Pequeñas	UE-1.19	FXEQ20AVE	0.026
21	Gerencia Oficinas Pequeñas	UE-1.20	FXEQ20AVE	0.026
22	Gerencia Oficinas Pequeñas	UE-1.21	FXEQ20AVE	0.026
23	Gerencia Oficinas Pequeñas	UE-1.22	FXEQ20AVE	0.026
24	Gerencia Oficinas Pequeñas	UE-1.23	FXEQ20AVE	0.026
25	Gerencia Oficinas Pequeñas	UE-1.24	FXEQ20AVE	0.026
26	Gerencia Oficinas Pequeñas	UE-1.25	FXEQ20AVE	0.026

27	Gerencia Oficinas Medianas	UE-1.26	FXEQ32AVE	0.034
28	Gerencia Oficinas Medianas	UE-1.27	FXEQ32AVE	0.034
29	Gerencia Oficinas Grandes	UE-1.28	FXFQ40AVE	0.063
30	Gerencia Oficinas Grandes	UE-1.29	FXFQ40AVE	0.063
31	Gerencia Oficinas Grandes	UE-1.30	FXFQ40AVE	0.063
32	Recepción Piso 2 (Postgrados)	UE-2.0	FXEQ32AVE	0.034
33	Postgrados Derecho	UE-2.1	FXEQ20AVE	0.026
34	Postgrados Adm de Empresas	UE-2.2	FXEQ20AVE	0.026
35	Aula 1218	UE-2.3	FXFQ63AVE	0.086
36	Aula 1219	UE-2.4	FXFQ63AVE	0.086
37	Postgrados Sala 1	UE-2.5	FXFQ63AVE	0.086
38	Postgrados Sala 3	UE-2.6	FXFQ63AVE	0.086
39	Postgrados Sala 2	UE-2.7	FXFQ50AVE	0.074
40	Postgrados Sala 4	UE-2.8	FXFQ71AVE	0.111
41	Postgrados Sala 5	UE-2.9	FXFQ63AVE	0.086
42	Postgrados Sala 6	UE-2.10	FXFQ71AVE	0.111
43	Postgrados Sala 7	UE-2.11	FXFQ40AVE	0.063
44	Aula 1214	UE-2.12	FXFQ100AVE	0.156
45	Aula 1213	UE-2.13	FXFQ90AVE	0.156
46	Aula 1213	UE-2.14	FXFQ90AVE	0.156
47	Aula 1217	UE-2.15	FXFQ125AVE	0.220
48	Departamento de TI, Piso 2	UE-2.16	FXFQ80AVE	0.111
49	Oficina Departamento TI	UE-2.17	FXEQ25AVE	0.027
50	Centro de Simulación (Farmacia)	UE-2.18	FXCQ32MVE	0.095
51	Dirección de Carreras (Piso 2)	UE-2.19	FXFQ50AVE	0.074
52	Dirección de Carreras de Farmacia	UE-2.20	FXCQ25MVE	0.095
53	Aula 1301	UE-3.0	FXCQ80MVE	0.216
54	Aula 1301	UE-3.1	FXCQ80MVE	0.216
55	Aula 1302	UE-3.2	FXCQ80MVE	0.216
56	Aula 1302	UE-3.3	FXCQ80MVE	0.216
57	Aula 1303	UE-3.4	FXCQ80MVE	0.216
58	Aula 1303	UE-3.5	FXCQ80MVE	0.216
59	Aula 1304	UE-3.6	FXFQ125AVE	0.220
60	Aula 1305	UE-3.7	FXCQ80MVE	0.216
61	Aula 1306	UE-3.8	FXCQ80MVE	0.216
62	Aula 1306	UE-3.9	FXCQ80MVE	0.216
63	Laboratorio MAC	UE-3.10	FXFQ80AVE	0.111

64	Laboratorio MAC	UE-3.11	FXFQ80AVE	0.111
65	Aula 1309	UE-3.12	FXFQ50AVE	0.074
66	Aula 1310	UE-3.13	FXFQ40AVE	0.063
67	Laboratorio Lenovo (1311)	UE-3.14	FXFQ80AVE	0.111
68	Laboratorio Lenovo (1311)	UE-3.15	FXFQ80AVE	0.111
69	Aula 1312	UE-3.16	FXFQ32AVE	0.053
70	Aula 1313	UE-3.17	FXFQ40AVE	0.063
71	Aula 1314	UE-3.18	FXFQ40AVE	0.063
72	Aula 1315	UE-3.19	FXFQ32AVE	0.053
73	Aula 1316	UE-3.20	FXFQ71AVE	0.111
74	Aula 1317	UE-3.21	FXFQ50AVE	0.074
75	Aula 1318	UE-3.22	FXFQ40AVE	0.063
76	Aula 1319	UE-3.23	FXFQ80AVE	0.111
77	Aula 1319	UE-3.24	FXFQ80AVE	0.111
78	Aula 1320	UE-3.25	FXFQ32AVE	0.053
79	Aula 1321	UE-3.26	FXFQ50AVE	0.074
80	Aula 1322	UE-3.27	FXFQ50AVE	0.074
81	Aula 1323	UE-3.28	FXFQ32AVE	0.053
82	Aula 1401	UE-4.0	FXFQ71AVE	0.111
83	Aula 1402	UE-4.1	FXFQ71AVE	0.111
84	Aula 1403	UE-4.2	FXFQ71AVE	0.111
85	Aula 1404	UE-4.3	FXFQ63AVE	0.086
86	Aula 1405	UE-4.4	FXCQ40MVE	0.132
87	Aula 1406	UE-4.5	FXFQ80AVE	0.111
88	Aula 1407	UE-4.6	FXFQ40AVE	0.063
89	Aula 1408	UE-4.7	FXFQ50AVE	0.074
90	Aula 1409	UE-4.8	FXFQ50AVE	0.074
91	Aula 1410	UE-4.9	FXFQ40AVE	0.063
92	Aula 1411	UE-4.10	FXFQ71AVE	0.111
93	Aula 1412	UE-4.11	FXFQ32AVE	0.053
94	Aula 1413	UE-4.12	FXFQ40AVE	0.063
95	Aula 1414	UE-4.13	FXFQ40AVE	0.063
96	Aula 1415	UE-4.14	FXFQ32AVE	0.053
97	Aula 1416	UE-4.15	FXFQ71AVE	0.111
98	Aula 1417	UE-4.16	FXFQ50AVE	0.074
99	Aula 1418	UE-4.17	FXFQ40AVE	0.063
100	Aula 1419	UE-4.18	FXFQ80AVE	0.111

101	Aula 1420	UE-4.19	FXFQ32AVE	0.053
102	Aula 1421	UE-4.20	FXFQ50AVE	0.074
103	Aula 1422	UE-4.21	FXFQ50AVE	0.074
104	Aula 1423	UE-4.22	FXFQ32AVE	0.053
105	Aula 1501	UE-5.0	FXFQ50AVE	0.074
106	Aula 1502	UE-5.1	FXFQ90AVE	0.156
107	Aula 1503	UE-5.2	FXFQ50AVE	0.074
108	Aula 1504	UE-5.3	FXFQ50AVE	0.074
109	Aula 1505	UE-5.4	FXFQ50AVE	0.074
110	Aula 1506	UE-5.5	FXFQ90AVE	0.156
111	Aula 1507	UE-5.6	FXFQ40AVE	0.063
112	Aula 1510	UE-5.7	FXFQ50AVE	0.074
113	Aula 1511	UE-5.8	FXFQ50AVE	0.074
114	Aula 1512	UE-5.9	FXFQ50AVE	0.074
115	Aula 1513	UE-5.10	FXFQ50AVE	0.074
116	Aula 1514	UE-5.11	FXFQ71AVE	0.111
117	Aula 1515	UE-5.12	FXFQ50AVE	0.074
118	Aula 1516	UE-5.13	FXFQ50AVE	0.074
119	Aula 1517	UE-5.14	FXFQ50AVE	0.074
120	Aula 1518	UE-5.15	FXFQ50AVE	0.074
121	Aula 1519	UE-5.16	FXFQ50AVE	0.074
122	Aula 1520	UE-5.17	FXFQ50AVE	0.074
123	Aula 1521	UE-5.18	FXFQ50AVE	0.074
124	Sala de Juicios	UE-5.19	FXFQ80AVE	0.111
125	Sala de Estudio (Periodismo)	UE-5.20	FXEQ20AVE	0.026
126	Estudio de Radio	UE-5.21	FXEQ20AVE	0.026
127	Estudio de Radio (Control)	UE-5.22	FXEQ20AVE	0.026
128	Estudio de Televisión	UE-5.23	FXFQ71AVE	0.111
129	Laboratorio de Periodismo	UE-5.24	FXFQ63AVE	0.086
Total				11.85

Tabla 31. Tabla de cargas eléctricas en KW (Evaporadores). Elaboración propia

N°	Ubicación	# Equipo	KW (Eléctrica)
1	Azotea Norte	UC-1.0	10.77
2	Azotea Norte	UC-1.1	10.77
3	Azotea Norte	UC-1.2	12.1

4	Azotea Norte	UC-2.0	10.77
5	Azotea Norte	UC-2.1	10.77
6	Azotea Norte	UC-2.2	9.08
7	Azotea Norte	UC-3.0	9.08
8	Azotea Norte	UC-3.1	4.28
9	Azotea Sur	UC-3.2	10.77
10	Azotea Sur	UC-3.3	10.77
11	Azotea Sur	UC-3.4	12.1
12	Azotea Sur	UC-4.0	10.77
13	Azotea Sur	UC-4.1	10.77
14	Azotea Sur	UC-4.2	9.08
15	Azotea Sur	UC-5.0	10.77
16	Azotea Sur	UC-5.1	12.1
17	Azotea Sur	UC-5.2	12.1
Total			176.97

Tabla 32. Tabla de cargas eléctricas en KW (Condensadores). Elaboración propia

Como se observa en las tablas 30 y 31 los resultados de carga de consumo eléctrico calculado para el edificio de un total de 188.82 KW.

Estimando que las horas de uso al día son de catorce horas (14h), esto suponiendo que los equipos trabajen de 8 de la mañana a 9 de la noche y estimando que los equipos trabajen un estimado de 300 días al año (de lunes a sábado), dejando el equipo apagado los domingos, los días feriados y tomando el dato de la carga eléctrica de 188.82 kW, se obtiene la siguiente tabla:

Tarifa y Consumo Anual	
Horas de uso por día	14
Días de uso al año	300
T-CO (CNFL)	¢ 110.10
Consumo estimado (kW)	188.82
Costo del KWh por año	¢ 87,314,144.4

Tabla 33. Cálculo de KW/h por año (Equipos nuevos). Elaboración propia

Ahora realizamos el mismo procedimiento para los equipos actualmente instalados, esto para determinar la factibilidad del proyecto, comparando los montos actuales con los

futuros, se presentan las siguientes tablas. Para la obtención del dato de los KW en este caso se emplea la ecuación 41 descrita en capítulos anteriores, para este caso se utilizan los datos brindados por la universidad y los informes de trabajo de los mantenimientos del año 2018.

UBICACIÓN	TIPO	CAPACIDAD	MODELO	KW (Eléctrico)
DIRECCIONES DE CARRERA	PISO CIELO	60000	GUE 60CRN	5.2
GERENCIA GENERAL	PARED ALTA	12000	WOBC2DB12	1.2
RECTORIA	PARED ALTA	12000	WOE13C2DB1	1.2
VICERRECTORIA	PARED ALTA	18000	GAW18C2-V105	2.6
OFICINA JEFE DE TESORERIA	PARED ALTA	12000	WOE13C2DB1	1.2
CONTABILIDAD	PARED ALTA	24000	B1NG25C2V32	2.6
CAJAS	PISO CIELO	60000	N/A	3.1
CAJAS	PISO CIELO	60000	LVNCGO2LL2	5.8
CALL CENTER	PARED ALTA	24000	AR247NSSAW	2.6
MERCADEO	PARED ALTA	24000	AR24HV55AWKN	2.6
MERCADEO SALA REUNIONES	PARED ALTA	24000	WO13C2DB2	2.6
AREA COMUN DE REGISTRO	PISO CIELO	60000	WO13C2DB2	5.8
AREA COMUN DE MERCADEO	PISO CIELO	60000	WO13C2DB2	5.8
1213	PISO CIELO	60000	GUB-60 CRN1	5.8
1215	PARED ALTA	18000	ES-18INUZ1	2.4
1216	PISO CIELO	36000	GUB-36CRN1	3.1
1217	PISO CIELO	24000	NO TIENE	2.6
1218	PARED ALTA	24000	ES-24INV	2.6
1219	PARED ALTA	24000	BIN625C2V32	2.6
SALA 1	PARED ALTA	18000	ES-18 INV21	2.6
SALA 2	PARED ALTA	18000	ES-18 INV21	2.6
SALA 3	PARED ALTA	24000	D5A-24OL-R	2.8

SALA 4	PARED ALTA	24000	DSA-2401-R	2.8
SALA 5	PARED ALTA	24000	ES-24INV21	2.8
SALA 6	PARED ALTA	24000	ES-24INV21	2.8
CAFETIN POST GRADO	PARED ALTA	18000	ES-18INV21	2.6
1301	PARED ALTA	24000	TIN 625C2V32	2.6
1302	PARED ALTA	24000	TIN 625C2V32	2.6
1303	PARED ALTA	24000	AR234HVSSAWKN	2.8
1304	PARED ALTA	24000	TIN 625C2V32	2.8
1305	PARED ALTA	12000	ES - 18085PR	2.1
1306	PARED ALTA	24000	TIN 625C2V32	2.8
1307	PARED ALTA	12000	TAC12CS/CJ2	2.1
1310	PARED ALTA	12000	TIN414C2V32	1.2
1312	PARED ALTA	12000	TIN414C2V32	1.2
1323	PARED ALTA	12000	TIN414C2V32	1.2
1407	PARED ALTA	12000	TIN414C2V32	1.1
1410	PARED ALTA	12000	TIN414C2V32	1.1
1412	PARED ALTA	12000	TIN414C2V32	1.1
1415	PARED ALTA	12000	TIN414C2V32	1.1
1420	PARED ALTA	12000	TIN414C2V32	1.1
1423	PARED ALTA	12000	TIN414C2V32	1.1
OFICINA ESCUELA DE PERIODISMO	PARED ALTA	18000	TAC 18C5A/CJ2	2.6
CANAL DE LA ESCUELA DE PERIODISMO	DUCTO	60000	VEV6202R18	6.4
SALA REUNIONES 5 PISO	DUCTO	24000	GAW24C63R	3
			Total	115.20

Tabla 34. Cálculo de KW/h por año (Equipos actuales). Proporcionados por la universidad.

Realizando el cálculo multiplicando la carga eléctrica con los costos establecidos por el CNFL, podemos encontrar el costo eléctrico consumido por los equipos de aire acondicionado instalados actualmente en el edificio, considerando además de que no se contemplan todas las aulas, ni laboratorios como si lo propuesto por este proyecto, se establece la siguiente tabla con los datos.

Tarifa y Consumo Anual	
Horas de uso por día	14
Días de uso al año	300
T-CO (CNFL)	¢ 110.10
Consumo estimado (kW)	115.20
Costo del KWh por año	¢ 53,270,784.0

Tabla 35. Cálculo de KW/h por año (Equipos nuevos). Elaboración propia

Diferencial del flujo de gastos

Se tomarán como referencia los datos obtenidos con anterioridad, solamente que se considerará únicamente los espacios con unidades de aire acondicionado actualmente instalados, para que la referencia sea más exacta y se pueda ver claramente la diferencia en el consumo, esto determinará la factibilidad del proyecto propuesto.

- Equipos instalados.

Equipos Actuales	
UBICACIÓN	KW (Eléctrico)
DIRECCIONES DE CARRERA	5.2
GERENCIA GENERAL	1.2
RECTORIA	1.2
VICERRECTORÍA	2.6
OFICINA JEFE DE TESORERÍA	1.2

CONTABILIDAD	2.6
CAJAS	3.1
CAJAS	5.8
CALL CENTER	2.6
MERCADEO	2.6
MERCADEO SALA REUNIONES	2.6
ÁREA COMÚN DE REGISTRO	5.8
ÁREA COMÚN DE MERCADEO	5.8
1213	5.8
1215	2.4
1216	3.1
1217	2.6
1218	2.6
1219	2.6
SALA 1	2.6
SALA 2	2.6
SALA 3	2.8
SALA 4	2.8
SALA 5	2.8
SALA 6	2.8
CAFETIN POST GRADO	2.6
1301	2.6
1302	2.6
1303	2.8
1304	2.8
1305	2.1
1306	2.8
1307	2.1
1310	1.2
1312	1.2
1323	1.2
1407	1.1
1410	1.1
1412	1.1
1415	1.1
1420	1.1
1423	1.1
OFICINA ESCUELA DE PERIODISMO	2.6
CANAL DE LA ESCUELA DE PERIODISMO	6.4
SALA REUNIONES 5 PISO	3

Total	115.20
--------------	---------------

Tabla 36. Consumos eléctricos actuales. Elaboración propia.

- Equipos propuestos.

Equipos Propuestos (Evaporadores)	
UBICACIÓN	KW (Eléctrico)
Directores de Carrera Ala Oeste	0.026
Directores de Carrera Ala Oeste	0.095
Directores de Carrera Ala Oeste	0.095
Directores de Carrera Ala Este	0.027
Directores de Carrera Ala Este	0.027
Directores de Carrera Ala Este	0.132
Directores de Carrera Ala Este	0.132
Gerencia Oficinas Grandes	0.063
Gerencia Oficinas Grandes	0.063
Gerencia Oficinas Grandes	0.063
Oficina Área de Cajas	0.026
Gerencia Oficinas Pequeñas	0.026
Área de Cajas	0.086
Área de Cajas	0.086
Área de Cajas	0.156
Call Center	0.053
Oficina 1 Recepción	0.027
Oficina 2 Recepción	0.053
Recepción	0.199
Recepción	0.199
Recepción	0.199
Recepción	0.199
Aula 1213	0.156
Aula 1213	0.156
Aula 1214	0.156
Aula 1217	0.22
Aula 1218	0.086
Aula 1219	0.086
Postgrados Sala 1	0.086
Postgrados Sala 3	0.086
Postgrados Sala 2	0.074

Postgrados Sala 4	0.111
Postgrados Sala 5	0.086
Postgrados Sala 6	0.111
Postgrados Sala 7	0.063
Aula 1301	0.216
Aula 1301	0.216
Aula 1302	0.216
Aula 1302	0.216
Aula 1303	0.216
Aula 1303	0.216
Aula 1304	0.22
Aula 1305	0.216
Aula 1306	0.216
Aula 1306	0.216
Laboratorio MAC	0.111
Laboratorio MAC	0.111
Laboratorio Lenovo (1311)	0.111
Laboratorio Lenovo (1311)	0.111
Aula 1312	0.053
Aula 1323	0.053
Aula 1407	0.063
Aula 1410	0.063
Aula 1412	0.053
Aula 1415	0.053
Aula 1420	0.053
Aula 1423	0.053
Laboratorio de Periodismo	0.086
Sala de Estudio (Periodismo)	0.026
Estudio de Radio	0.026
Estudio de Radio (Control)	0.026
Estudio de Televisión	0.111
Sala de Juicios	0.111
Total	6.947

Tabla 37. Consumo eléctrico propuesto de los evaporadores. Elaboración propia.

Condensadores	
Condensadores	KW (Eléctrico)
UC - 1.0	10.77

UC - 1.1	10.77
UC - 1.2	7.28
UC-2.0	7.28
UC-2.1	7.28
UC-2.2	7.28
UC-3.0	10.77
UC-3.1	10.77
UC-3.2	10.77
UC-4.0	5.94
UC-5.0	5.94
Total	94.85

Tabla 38. Consumo eléctrico propuesto de los condensadores. Elaboración propia.

Sumando los consumos en los equipos propuestos (evaporadores y condensadores), y restándoselos a los equipos instalados, nos da una diferencia de 13.403 KW, el cual podemos observar en la siguiente tabla.

Diferencia en consumos eléctricos	
Total, Instalado (KW)	115.2
Total, Propuesto (KW)	101.797
Diferencia (KW)	13.403

Tabla 39. Diferencia en consumos eléctricos. Elaboración propia.

Diferencial de tarifas y consumos anuales

Con respecto a la tabla anterior, podemos obtener los costos eléctricos evaluados actualmente y con los equipos propuestos.

Tarifa y Consumo Actual		Tarifa y Consumo Propuesto	
Horas de uso por día	14	Horas de uso por día	14
Días de uso al año	300	Días de uso al año	300
T-CO (CNFL) (C)	110.1	T-CO (CNFL) (C)	110.1
Consumo estimado (kW)	115.2	Consumo estimado (kW)	101.797
Costo del KWh por año	C 53,270,784.00	Costo del KWh por año	C 47,072,968.74

Diferencia	₡ 6,197,815.26
-------------------	-----------------------

Tabla 40. Diferencia de costos eléctricos anuales. Elaboración propia.

Cálculo del VAN y el TIR

Se elabora documento para el cálculo del valor actual neto (VAN) y la tasa de interna de retorno (TIR), adicional se adjunta la tabla de resumen de los cálculos, los mismos están basados en los equipos actualmente instalados y el alcance del proyecto para sustituir estos, ya que si contemplamos el sistema total propuesto, la diferencia de costos es sumamente elevado considerando que la universidad cuenta con 44 unidades de aire acondicionado instalados y la propuesta es de 129 equipos, en ambos casos sin contar los condensadores. Los costos de los equipos, así como del monto por servicio de mantenimiento, se toman como referencia procesos de Licitación Pública encontrados en SICOP, esto debido a que al finalizar este documento no tuvimos respuesta de los proveedores con la solicitud de ofertas.

Referencias obtenidas de la página web de SICOP. (SICOP, 2021)


 Cálculo del VAN y TIR.xlsx	VAN Ahorro 10%	₡90,124,945
	VAN Proyecto (15 años)	₡7,941,491
	TIR (15 años)	12%
	Tasa de Descuento:	10%

Tabla 41. Valor actual neto y tasa interna de retorno. Elaboración propia.

Mencionar que el costo de inversión tiene implícito en el mismo, la compra de las unidades evaporadoras y condensadoras, así como la instalación mecánica y eléctrica de los mismos, dentro de este mismo proyecto más adelante se realizará el análisis de descripción del equipamiento mínimo requerido, donde se explica a detalle lo requerido para la instalación en cada una de las máquinas, esto da un mejor panorama de lo esperado en las obras del diseño seleccionado.

Rutinas de mantenimiento

Son actividades periódicas que se basan en inspecciones regulares, así como pruebas de rendimiento y funcionamiento de los equipos. Esto tiene como finalidad la conservación del equipo y su vida útil, así como garantizar la adecuada operación de este. Dentro de estas rutinas de mantenimiento comunes podemos encontrar los siguientes puntos generales, los cuales permitirán desarrollar una hoja de rutinas de mantenimiento más detallada y que se encontrara adjunta en cada tipo de mantenimiento seleccionado.

- Limpieza con presión de agua (esta no debe de exceder las 90 lbf/in² o bien en su unidad internacional de 620.52 KPa) de los serpentines en evaporadores y condensadoras.
- Lavado de bandejas de condensado, bombas de drenaje, desagües del sistema y aspiración de las tuberías de condensado.
- Revisión de la presión de succión y descarga, parámetros de voltaje y temperaturas.
- Tratamiento químico en caso de requerirlo.
- Cambio del aislamiento de las tuberías de refrigeración en caso de que se encuentren en muy mal estado, se realiza pintura para protección adicional.
- Revisión de la soportería del evaporador y condensador.
- Ajustes de carga de refrigerante.
- Reparación de fugas por descarga en el funcionamiento normal.
- Cambio de terminales de los cables y contactores eléctricos con la periodicidad que se requiera.
- Revisión y ajuste en termostatos, protectores e instalación eléctrica.
- Lubricación de motores, roles y muñoneras, incluyendo los lubricantes necesarios (1 vez al año).
- Ajuste en turbinas (balanceo), aspas, aislamientos, difusores y rejillas (cada 6 meses).
- Reparación de soportería metálica, tornillos y tubería, incluyendo los materiales necesarios (cada vez que se requiera).
- Programación de los controles centrales e individuales de los equipos (cada vez que se requiera).
- Limpieza general exterior de los equipos, incluyendo todos los insumos necesarios.

Esta hoja conocida también como “Check List”, es importante mencionar que este documento se debe de llenar con cada intervención que se realice en los equipos, esto contribuye con el histórico de cada unidad y brinda un seguimiento adecuado de las labores realizadas y las pendientes. Para este apartado vamos a dividir las rutinas de mantenimiento preventivo, que van a tener una periodicidad trimestral, y por otro lado las rutinas predictivas, las cuales se desarrollaran cada semestre; se establece de esta forma debido a que el mantenimiento predictivo es mucho más invasivo en los equipos y se ejecutan para la detención temprana de posibles fallos.

A continuación, se presentan los siguientes tipos de rutinas desarrolladas:

Rutinas de mantenimiento preventivo

Estas se implementan trimestralmente, por lo general, es la periodicidad recomendada para mantener los equipos de confort. Se presenta el documento con diversas rutinas, estas elaboradas de una forma que sea amigable con el usuario y a su vez muy intuitiva, la cual permite que sea fácil de completar y que no demore mucho tiempo llenando sus casillas.



Rutinas de
Mantenimiento Prev

Rutinas de mantenimiento predictivo

A su vez las rutinas de mantenimiento predictivo son un número de procesos que permiten al personal técnico diagnosticar en una etapa temprana lo que ocurre en las unidades, esto permitiendo descifrar fallos a corto y mediano plazo, esto con la finalidad de evitar daños en las máquinas, en el archivo adjunto se encuentra de igual manera que el anterior, una forma simple de realizar el levantamiento de lo encontrado por el personal especializado.



Rutinas de Mantenimiento Prec

Chequeo con software

Esta es una rutina de mantenimiento especial, la cual se debe de llevar por la empresa especialista de la marca comercial, ya que se debe de disponer de un software especializado el cual indica parámetros de funcionamiento específicos, y que normalmente no se pueden medir con herramienta. Este software se conecta directamente a la tarjeta principal de la unidad condensadora y registra el funcionamiento y valores de todos los sensores por medio de su logística interna.

Una vez realizado el rastreo por software, el mismo genera un documento resumen con todo los valores y datos que arrojan los sistemas este se deberá de entregar al personal encargado del edificio, esto para llevar un control anual, el cual permitirá obtener un histórico del comportamiento de las unidades a nivel general, se deberá de realizar con todos los equipos por sistemas y exigiéndolos a lo máximo de sus capacidades.

Descripción del equipamiento mínimo requerido

Se deberá proveer e instalar un sistema completo de equipos de aire acondicionado tipo VRV según las capacidades indicadas, ductos, drenajes y tuberías de los tamaños según diseño. Se aceptarán equipos con capacidades totales y sensibles dentro de un rango +20% y -10%. Dichos equipos deberán ser instalados de acuerdo con las indicaciones de los planos, datos obtenidos en este proyecto, así como del manual de instalación del fabricante.

Requisitos de instalación de los equipos de climatización

- Tuberías de refrigeración:
 - La instalación de las tuberías de refrigeración se hará bajo los más altos estándares de calidad y fiabilidad de la industria.

- Las tuberías serán suministradas a la obra, libres de impurezas y cerradas en sus dos extremos.
- Las tuberías de refrigeración entre la unidad condensadora y la unidad manejadora de aire, serán de cobre L "duro", con los diámetros externos (OD) indicados en el diseño. Todos los codos serán de radio largo.
- Las tuberías de refrigeración se deberán soldar bajo una corriente de nitrógeno.
- Los tramos horizontales de la línea de succión llevarán una pendiente del medio por ciento en el sentido del flujo del refrigerante.
- La línea de succión será aislada con espuma de poro cerrado equivalente a ARMAFLEX de la casa AMSTRONG en función del diámetro de la tubería, del sistema a instalar y al menos con una pulgada (25mm) de aislamiento. La unión entre tramos del aislante se hará con el pegamento recomendado por el fabricante de este. Las tuberías irán soportadas de tal manera que el aislante no sufra daño y serán marcadas con un código de colores de acuerdo con las indicaciones del inspector.
- La entrada de humedad, suciedad y cualquier otro contaminante en el interior del cobre tuberías y equipos de aire acondicionado, deberá ser evitada durante el proceso de instalación.
- Si la conexión de la línea de succión al compresor no permite adecuada flexibilidad para evitar la transmisión de vibraciones a la tubería, se instalará un aislador de vibración.
- Después de la instalación de la tubería, antes de la conexión de las unidades exteriores y de la instalación del aislamiento, la tubería debe ser lavada y probada a presión con nitrógeno seco. La presión del nitrógeno será de 550 psi y se mantendrá por un período de 24 horas.
- Para los ajustes de refrigerante en las tuberías que sean necesarios, se harán solo con refrigerante R-410-A, y deben ser cargadas por peso solamente, utilizando balanzas electrónicas.

- Las cantidades adicionales de refrigerante se deberán calcular con precisión a partir de los datos del fabricante, basándose en la longitud y el diámetro de cada sección de las tuberías de líquido refrigerante del sistema.
- Las tuberías que van a intemperie deben ir forradas con manta americana, pintadas en color negro o blanco según indique el inspector. En zonas donde la temperatura supere los 30 °C se utilizará un forro en una chaqueta de aluminio.
- Tuberías de condensados:
 - Dichas tuberías deberán ser cubiertos con un ducto, canaleta decorativa o columna falsa en caso de quedar expuesta en las paredes, tanto en el interior como en el exterior del recinto.
 - Los accesorios para emplear serán del tipo liviano cédula SDR 32.5.
 - Las tuberías de drenaje de condensado contarán con los siguientes accesorios: Trampa tipo sifón, con una altura neta de agua no menor de 50 mm. El sifón deberá tener registros para limpieza. El acople de la unidad enfriadora de aire será desarmable (empleando unión de tope, brida y otros). Los tramos horizontales de la tubería tendrán una pendiente mínima del 2% y serán tendidos de tal manera que no haya puntos bajos en donde se acumule el condensado.
 - Las tuberías de drenaje llevarán aislamiento de poro cerrado, tipo elastomérico, equivalente a ARMAFLEX de la casa AMSTRONG. Las pegas entre tramos de aislamiento serán hechas con pegamento equivalente al No. 520 de AMSTRONG, y de acuerdo con las instrucciones del fabricante. El espesor del aislamiento será de media pulgada (12.5mm) como mínimo, aunque el contratista deberá velar porque en las condiciones particulares de la instalación, no se condense humedad en la superficie exterior del aislante.
 - Se deberá coordinar en sitio, el paso de las tuberías de condensado para que las mismas no pasen por recintos que contengan equipos de cómputo sensibles. Si se presentara el caso, el contratista deberá colocar una bandeja metálica para evitar posibles fugas de condensados.

- Estructuras para montaje de unidades evaporadoras y condensadoras:
 - El contratista suministrará las estructuras, tanto para el montaje de las unidades evaporadoras como condensadoras.
 - Si los soportes de los evaporadores son mayores a 2 m se deben de instalar soportes antisísmicos para evitar el balanceo de estos.
 - Obligatoriamente se deberán efectuar los cálculos estructurales pertinentes para determinar los calibres de los soportes, así como los elementos que componen las plataformas necesarias a instalar, tomando como base el peso de los equipos que soportarán éstas.
 - Las plataformas deberán ser pintadas con dos manos de anticorrosivo en todas sus superficies no debiendo quedar ninguna expuesta a la intemperie y se les pintarán finalmente del color que determine la inspección.
 - Cuando el montaje de la plataforma o estructura sea en techo, la misma debe aislarse con hule de 5mm de espesor de la lámina de zinc.
 - En los casos que se requiera se debe contemplar una pasarela para mantenimiento de los equipos.

- Unidades evaporadoras tipo VRV:
 - Las unidades evaporadoras deberán ser del tipo abanico con serpentín de expansión directa con válvulas de expansión electrónica de última tecnología y contarán con todos los accesorios necesarios para conectarse en un circuito de refrigeración del tipo volumen variable de refrigerante R-410A.
 - El refrigerante de los equipos deberá ser del tipo R-410A, ecológico o similar, con un potencial de calentamiento global (PCG) menor a 2000, de acuerdo con lo establecido en el Reglamento N° 35676-S-H-MAG-MINAET y en el reglamento 37614-MINAE.
 - Las unidades evaporadoras deberán contar con modos de operación de enfriamiento y ventilación.

- El método de arranque de los motores de estas unidades deberá ser del tipo arranque en línea y contarán con termostato interno para protección por temperaturas anormales de operación.
- Los motores contarán con amortiguadores de vibración tipo manguito de hule.
- El nivel de ruido a las distintas velocidades del abanico se mantendrá entre los 30 y 35 decibeles medidos conforme a las normas estipuladas en los códigos señalados en estas especificaciones.
- Los abanicos de las evaporadoras deberán ser del tipo turbina.
- Todas las unidades contarán con termostato de protección contra congelamiento.
- El intercambiador de calor contará con aletas de aluminio del tipo persiana y tubos de cobre internamente ranurados para elevar la eficiencia de transferencia de calor.
- Las unidades evaporadoras deberán contar con filtros de eficiencia estándar plásticos del tipo lavable.
- Todas las unidades evaporadoras deberán contar con aislamiento de ruido y calor del tipo poliuretano expandido.
- Todas las unidades evaporadoras deberán contar con opción de control alámbrico o inalámbrico.
- Todas las unidades evaporadoras deberán contar con termostato electrónico para control de temperatura del local.
- La conexión de las líneas de refrigerante de los equipos deberá ser por medio de tuercas tipo flare.
- Todas las unidades evaporadoras deberán contar con bomba de drenaje de condensados incorporada y una manguera de 20 mm de diámetro (como mínimo) para conexión a la tubería recolectora de condensado.
- Todas las unidades evaporadoras deberán contar con kit de montaje original de fábrica.
- Todas las unidades suspendidas en cielo tipo cassette contarán con panel decorativo.

- Tanto las unidades evaporadoras como las unidades condensadoras deberán ser de la misma marca y mismo país de origen.
- Unidades condensadoras tipo VRV:
 - Las unidades condensadoras deberán venir precargadas de fábrica con refrigerante R-410A y deberán contar con un recubrimiento especial para ambientes salinos.
 - Las unidades condensadoras deberán contar con función de monitoreo de forma tal, que permita la detección de fallas y sirva de guía para el mantenimiento de las unidades mediante una pantalla digital de tres dígitos como mínimo.
 - Las unidades condensadoras deberán contar con control de protección de retorno en la línea de líquido y un sistema de control de alta velocidad.
 - Las unidades condensadoras deberán permitir la interconexión de control con las unidades evaporadoras mediante cable de dos líneas con pantalla para una distancia mínima de 1500 metros.
 - El nivel de ruido de las condensadoras deberá mantenerse entre 52 y 56 decibeles.
 - El sistema de control de estos equipos deberá permitir la operación de respaldo (“back up”) en caso de falla, ya sea entre compresores, en el caso de unidades de más de un compresor o entre condensadoras en el caso de unidades combinadas.
 - Los compresores de las condensadoras deberán venir montados de fábrica sobre amortiguadores de vibración de neopreno, que aseguren una operación estable y silenciosa.
 - El compresor de las unidades condensadoras deberá ser del tipo Scroll con motor “inversor” asistido por un mecanismo de control de la velocidad variable y un by-pass ajustable en función de la velocidad de rotación ordenada por el “inversor”, de manera que esté en condiciones de modular su capacidad dentro de un rango mínimo entre el 21% y el 100% de su capacidad.

- El motor del compresor deberá ser para arranque en línea y deberá contar con protecciones para sobrecalentamiento, sobre corriente, protección de sobrecalentamiento por medio de transistor y protección por alta presión anormal.
- El control de flujo de refrigerante deberá ser por medio de válvula de expansión electrónica.
- El refrigerante en los equipos deberá ser del tipo R-410A, ecológico o similar, con un potencial de calentamiento global (PCG) menor a 2000, de acuerdo con lo establecido en el Reglamento N° 35676-S-H-MAG-MINAET y en el reglamento 37614-MINAE.
- Las unidades condensadoras deberán contar con las siguientes protecciones de fábrica:
 - Alta y baja presión de refrigerante.
 - Sobrecalentamiento y sobre corriente del compresor.
 - Protección de alto y bajo voltaje.
- No se aceptará el uso de protecciones instaladas en sitio para las unidades condensadoras.
- Los serpentines de las condensadoras deberán ser construidos con aletas de aluminio y tubería de cobre internamente ranuradas para aumentar la eficiencia en la transmisión de calor.
- Las condensadoras deberán tener la capacidad de realizar un chequeo automático de las válvulas de expansión electrónica para prevención de fallas. Así mismo deberá tener la capacidad de desplegar mensajes o códigos de error por medio de pantallas LCD o LED ubicados en la tarjeta de control del condensador.
- La conexión de las líneas de refrigerante de los equipos deberá ser por medio de tuercas tipo flare.
- La caja eléctrica de las unidades condensadoras deberá ser fabricada en acero galvanizado y aluminio recubiertas con resina a base de poliéster termoestable en la superficie externa.

- El soporte motor del ventilador deberá ser fabricado en acero galvanizado con revestimiento de resina a base de poliéster termoestable de en las superficies internas y externas.
 - Las tarjetas electrónicas impresas contarán con un revestimiento externo a base de resina epóxica con base de poliuretano para revestimiento.
 - El control de velocidad del inversor de las unidades condensadoras deberá ser del tipo que permita una transición suave desde la velocidad más baja hasta la velocidad de plena carga.
 - El control de velocidad de las unidades condensadoras deberá permitir obtener ondas senoidales de alimentación al motor libre de armónicos para la frecuencia requerida de operación. Así mismo este control deberá permitir una alta eficiencia a bajas velocidades.
 - Tanto las unidades evaporadoras como las unidades condensadoras deberán ser de la misma marca y mismo país de origen.
- Controles para el sistema de aire acondicionado tipo VRV:
 - Controlador central:
 - El control central deberá ser capaz de integrar a todas las unidades condensadoras y evaporadoras en un solo mando, tomando en cuenta equipos de expansión directa.
 - El sistema de control deberá permitir la puesta en marcha de todos y cada uno de los subsistemas y proporcionar información adecuada para el servicio de mantenimiento (alarma).
 - El sistema de control deberá utilizar un cable de dos hilos, no-polarizado
 - El sistema de control deberá constituir una red de alta velocidad de transmisión de datos que permitirá interconectar todos y cada uno de los equipos de los sistemas VRV, el contratista deberá suministrar las interfaces necesarias para ejecutar correctamente tal interconexión.
 - El sistema de control deberá permitir la integración de los controles individuales que se requieran.

- Controles individuales
 - En el sistema deberá contar con controles inalámbricos para cada oficina o sala.
 - Los grupos de evaporadoras de las zonas de público u oficinas abiertas solo podrán variar sus ajustes desde el panel de control central.
 - El contratista deberá proveer todas las interfaces necesarias para la integración de estos controles con el control central.

- Soportería:

Todas las tuberías de refrigeración, tuberías de condensado, tuberías eléctricas y de control de los equipos de aire acondicionado y equipos de ventilación, que viajen tanto interna como externamente del edificio, deberán ser soportadas, con soportes tipo pera, varillas roscadas y/o tipo strut, similares a los que se muestran a continuación:

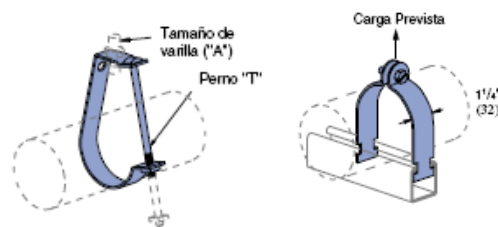


Figura 23. Soportería para tuberías tipo “pera” y “strut”.

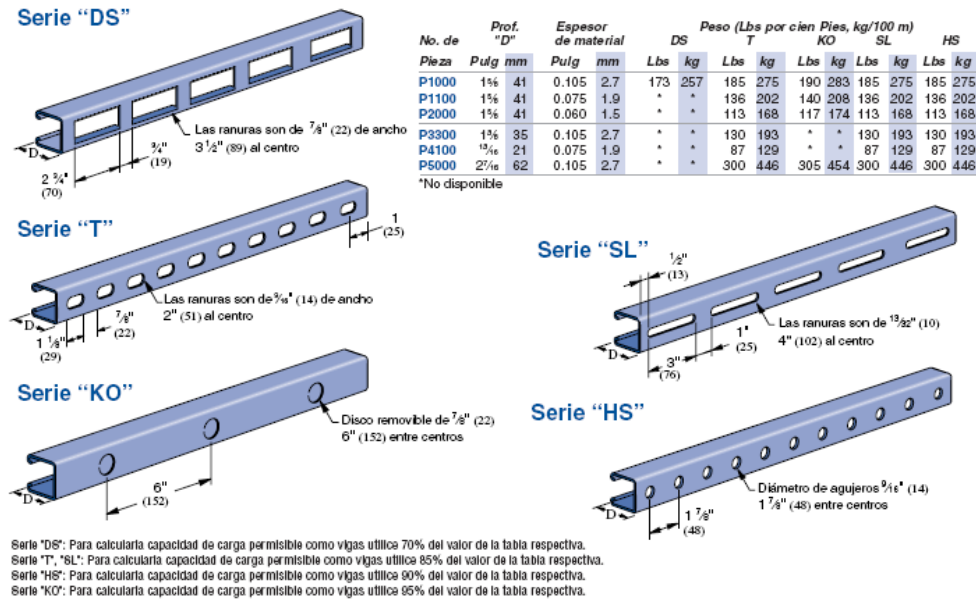


Figura 24. Soportería para tuberías "B-line".

- Si es necesario otro tipo de soportería adicional para la sujeción de estas tuberías, el contratista deberá proveerlo.
- Las tuberías colgadas dentro de cielos falsos o a la vista, serán sujetas a la estructura de techo con soportes tipo mordaza, de manera tal que no se perforen las estructuras metálicas que soportan el techo. Estos soportes deberán ser especialmente fabricados de acuerdo con el detalle que deberá presentar el contratista de instalaciones al inspector para su correspondiente aprobación.
- Los soportes permitirán graduar la pendiente, y deberán cumplir con las recomendaciones técnicas pertinentes al ambiente corrosivo del lugar, de manera que se pueda garantizar su durabilidad.
- Las tuberías verticales deberán anclarse cada 2.00 metros, igualmente con abrazaderas que cumplan con las recomendaciones anteriores según el caso y el lugar.
- Cuando la tubería viaje colgante, se colocarán soportes cada cierta distancia, dependiendo del diámetro de la tubería, tal y como se muestra en la tabla adjunta:

Diámetro de tubería (mm)	Espaciamiento entre soportes (m)
12,7	1.00
19	1.10
25,4	1.20
31,75	1.30
38 - 50	1.50

Tabla 42. Diámetro de tubería y espacios de los soportes recomendados.

- Los soportes deberán ser construidos en metal, con acabo superficial tipo galvánico. Deberán tener una tuerca de inserción con arandela metálica, para asegurar que el soporte y la tuerca de inserción permanezcan juntos.
- Los soportes no deberán impedir los movimientos longitudinales necesarios debido a las expansiones térmicas de las tuberías.
- Las tuberías deben instalarse de tal manera que no queden sujetas a esfuerzos y tensiones indebidas y deben tomarse precauciones para facilitar la expansión y contracción del material y asentamiento de la estructura.
- Las tuberías no deben quedar aprisionadas dentro de los anillos de los soportes, sino que deben quedar libres para permitir el deslizamiento accionado por la dilatación producida en los cambios de temperatura. En los puntos de apoyo en el soporte, las tuberías deberán llevar una camisa de PVC, así como gasas plásticas, para asegurar la camisa de PVC al soporte.
- Las varillas para la sujeción de estos elementos deberán ser roscadas, como mínimo de 10 mm de diámetro.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones.

- Se realizaron todos los estudios y recolección de datos para el diseño del sistema de climatización esto para que se adapte a las necesidades de cada uno de los espacios, enfocados en brindar confort térmico a los usuarios finales, como lo son el personal administrativo y operativo de la universidad, así como la vida estudiantil en general, esto basado en la selección de los equipos bajo las normas adoptadas por el país.
- Se analizaron las condiciones aptas para el desarrollo de los cálculos esto con la ayuda de la página web del Instituto Meteorológico Nacional, contribuyendo para determinar puntos importantes en la hoja de cálculo desarrollada con anterioridad por mi persona y con esto obtener las cargas térmicas de cada recinto individualmente; esto se puede observar en el documento de la tabla 9 a la tabla 21 del presente proyecto.
- Se realizó el cálculo de las cargas térmicas totales, las cuales se pueden observar en la tabla 22, y adicionalmente en las tablas 23 a la 27 donde están representadas en cada uno de los pisos, este es un insumo sumamente valioso para el proyecto, ya que es la base para la selección de los condensadores (tabla 29).

- Se elabora la propuesta de los planos mecánicos realizando modificaciones en diversas áreas que no coincidían con lo encontrado en sitio, se reubican paredes, puertas y ventanas; se procede de esta manera debido a que los equipos calculados se posicionaban sobre paredes y entre espacios no existentes.
- Se ejecuta el análisis financiero del proyecto obteniendo como resultado la factibilidad de este, se toma como referencia únicamente los espacios donde existen equipos de climatización actualmente instalados. Se calculan los datos del valor actual neto (VAN) el cual es igual a ₡ 7,941,491 y la tasa interna de retorno (TIR) igual a un 12%.
- Se realizan documentos que contienen las rutinas de mantenimiento preventivo y predictivo según la necesidad de las unidades, basado en el conocimiento adquirido durante los años trabajando como técnico y según indicaciones del fabricante en sus manuales de operación; estos protocolos están elaborados como lista de chequeo (Check List) y se encuentran adjuntos en el apartado de “Rutinas de mantenimiento” del proyecto.

Recomendaciones.

- Pintar el aislante de la tubería (cañuela cubierta de manta) del mismo color de las paredes exteriores (blanco o marfil) para que refleje la luz solar y pueda disminuir la carga térmica.
- Pintar la loza superior del edificio de un color claro (blanco o marfil) para que refleje la luz solar y pueda disminuir la carga térmica, esto debido a que la misma es de un color rojo oscuro. (Google, 2021).
- En caso de modificaciones, remodelaciones estructurales o reestructuraciones se recomienda usar materiales con un bajo coeficientes de conducción y actualizar los planos en tiempo, se recomienda utilizar paneles de fachadas prefabricados con aislante interno. (Construpanel, 2021)
- Los vidrios de los recintos estén en contacto con el exterior se les debe de colocar un tipo de material aislante o temperado y con esto bajar el coeficiente de sombreado.

- Instalar control central para poder monitorear los equipos, programarles funcionamientos y los mismos conectarlos a una dirección IP para poder visualizar los equipos desde cualquier punto con acceso a la red.
- Mantener las cargas térmicas existentes en los recintos o de ser necesario un cambio, que sea una mejora tecnológica, esto con la finalidad de que el equipo cumpla con su función adecuada con respecto al dimensionamiento.
- Crear bases de datos que contemplen un historial de mantenimiento para los sistemas de aire acondicionado.
- Se recomienda una efectiva gestión del mantenimiento preventivo para los equipos, esto asegura mantener la vida útil y evita fallos inesperados, esto debido a que actualmente el registro de actividades y control de los equipos de acondicionamiento es muy pobre.
- A la hora de efectuar la compra de unidades de climatización se recomienda apearse a este documento y seguir las normativas expresadas en el proyecto.
- Se debe de realizar fichas técnicas de los equipos por parte de la administración para darle seguimiento a los equipos que se pretende instalar, con esto realizar un seguimiento oportuno del estado real de cada unidad.
- Completar las listas de chequeo en cada mantenimiento que se brinde, esto para obtener datos reales de los equipos y con esto prever daños o fallos.

CAPÍTULO VI: PROPUESTA

Para la realización de la propuesta se partirá del hecho de que los equipos se instalarán según las recomendaciones técnicas, así como de la evidencia mostrada en el presente proyecto.

Instalación de unidades de aire acondicionado con tecnología VRV

Debido a que en el proyecto existen muchos y variados sectores se instalarán con cargas térmicas diferentes y con necesidades particulares se instalarán una serie de equipos que se adapten a estas particularidades, serán requeridas un total de diecisiete (17) unidades condensadoras con cargas entre los 8 HP y 18 HP, así como de ciento veintinueve (129) evaporadoras las cuales utilizarán refrigerante R410A. La capacidad total de enfriamiento de estas unidades se calculó y fue suministrada anteriormente.

Se toma como referencia la ficha técnica del fabricante Daikin, esto debido a que es la marca más vendida en aire acondicionado a nivel mundial, cuentan con más de 32 años en el país, tienen un stock de repuestos amplios y tienen más de 70 fábricas a nivel mundial, adicional a esto, fue la que brinda la respuesta más rápida y oportuna con respecto a la solicitud de documentos y reseñas.

De estas fichas se toman los modelos de los equipos y sus características, las cuales se les muestran a continuación.

Unidades condensadoras:



Figura 25. Unidad Condensadora VRV IV, Daikin (De 8HP a 12HP, 1 Compresor). (Daikin, PCVMT1541 aprov, VRV IV, 2015)

HP			8 HP	10 HP	12 HP
MODELO			RHXYQ8AYL	RHXYQ10AYL	RHXYQ12AYL
Unidades de combinación			-	-	-
Fuente de energía					
Capacidad de enfriamiento	kcal/h		19,300	24,100	28,800
	Btu/h		76,400	95,500	114,000
	kW		22.4	28.0	33.5
Capacidad de calentamiento	kcal/h		21,500	27,100	32,300
	Btu/h		85,300	107,000	128,000
	kW		25.0	31.5	37.5
Consumo de energía	Enfriamiento	kW	4.28	5.94	7.38
	Calefacción	kW	4.85	6.50	8.01
Control de capacidad		%	20-100	16-100	15-100

Figura 26. Datos Unidades Condensadoras de 8HP, 10 HP y 12HP. (Daikin, PCVMT1541 aprov, VRV IV, 2015)



Figura 27. Unidad Condensadora VRV IV, Daikin (De 14HP a 22HP, 2 Compresores). (Daikin, 2015)

HP			14 HP	16 HP	18 HP	20 HP
MODELO			RHXYQ14AYL	RHXYQ16AYL	RHXYQ18AYL	RHXYQ20AYL
Unidades de combinación			-	-	-	-
Fuente de energía						
Capacidad de enfriamiento	kcal/h		34,400	38,700	43,000	48,200
	Btu/h		136,000	154,000	171,000	191,000
	kW		40.0	45.0	50.0	56.0
Capacidad de calentamiento	kcal/h		38,700	43,000	48,200	54,200
	Btu/h		154,000	171,000	191,000	215,000
	kW		45.0	50.0	56.0	63.0
Consumo de energía	Enfriamiento	kW	9.08	10.77	12.13	13.99
	Calefacción	kW	9.91	11.27	12.73	15.00
Control de capacidad		%	10-100		8-100	

Figura 28. Datos Unidades Condensadoras de 14HP, 16 HP, 18 HP y 22HP. (Daikin, 2015)

En cuestión de condensadores serán requeridos una totalidad de 17 equipos, dentro de los cuales podemos encontrar uno (1) equipo de 8HP, tres (3) de 14HP, nueve (9) de 16HP y cuatro (4) de 18 HP, esto da una carga total de 744.5 KW, 2,541,000.00 BTU/h o su equivalente en Kcal/h con un total de 640,748.72.

Unidades evaporadoras:



Figura 29. Unidades Evaporadora Tipo Cassette de 1 vía. (Daikin, 2015)

MODELO			FXEQ20AVE	FXEQ25AVE	FXEQ32AVE	FXEQ40AVE	FXEQ50AVE	FXEQ63AVE
Fuente de energía			1 fase, 60 Hz, 220 V					
Capacidad de enfriamiento	kcal/h		1,900	2,400	3,100	3,900	4,800	6,100
	Btu/h		7,500	9,600	12,300	15,400	19,100	24,200
	kW		2.2	2.8	3.6	4.5	5.6	7.1
Capacidad de calefacción	kcal/h		2,200	2,800	3,400	4,300	5,400	6,900
	Btu/h		8,500	10,900	13,600	17,100	21,500	27,300
	kW		2.5	3.2	4.0	5.0	6.3	8.0
Consumo de energía	Enfriamiento	kW	0.026	0.027	0.034	0.046	0.048	0.067
	Calefacción	kW	0.022	0.023	0.030	0.042	0.044	0.063
Estructura			Placa de acero galvanizado					
Flujo de aire (A/M/B)	Enfriamiento	m³/min	6.0/5.4/4.9/4.4/4.0	6.9/6.4/5.8/5.3/4.8	8.0/7.5/7.0/6.3/5.5	9.8/8.8/7.8/7.0/6.2	12.5/11.4/10.4/9.5/8.7	15.0/13.6/12.2/11.0/9.8
		cfm	212/191/173/155/141	244/226/205/187/169	282/265/247/222/194	346/311/275/247/219	441/402/367/335/307	530/480/431/388/346
	Calefacción	m³/min	6.0/5.6/5.1/4.7/4.2	7.2/6.7/6.1/5.6/5.0	8.6/8.0/7.4/6.7/6.0	10.2/9.3/8.4/7.6/6.8	14.0/12.8/11.6/10.7/9.8	16.9/15.3/13.6/12.3/11.0
		cfm	212/198/180/166/148	254/237/215/198/177	304/282/261/237/212	360/328/297/268/240	494/452/409/378/346	597/540/480/434/388
Nivel de sonido (A/M/B)	Enfriamiento	dB(A)	30/29/28/27/26	32/31/30/29/28	35/34/33/32/30	38/37/35/33/31	38/37/35/33/31	43/41/39/37/35
	Calefacción	dB(A)	33/31/29/28/26	35/33/31/30/26	38/36/34/33/31	41/39/37/35/33	41/39/37/36/34	45/44/42/40/38
Dimensiones (Al. x An. x Prof.)		mm	200x840x470				200x1,240x470	
Peso de la máquina		kg	17			18	23	
Conexiones de tuberías	Líquido	mm	φ6.4				φ9.5	
	Gas		φ12.7				φ15.9	
	Drenaje		PVC26 (diám. ext., 26/diám. int., 20)					
Panel (opcional)	Modelo		BYEP40AW1				BYEP63AW1	
	Color		Blanco Fresh					
	Dimensiones (Al. x An. x Prof.)		80x950x550				80x1,350x550	
	Peso		8.0				10.0	

Figura 30. Datos Unidades Evaporadora Tipo Cassette de 1 vía. (Daikin, 2015)



Figura 31. Unidades Evaporadora Tipo Cassette de 2 vía. (Daikin, 2015)

MODELO		FXCQ20MVE	FXCQ25MVE	FXCQ32MVE	FXCQ40MVE	FXCQ50MVE	FXCQ63MVE	FXCQ80MVE	FXCQ125MVE	
Fuente de energía		1 fase, 220-240 V/220 V, 50/60 Hz								
Capacidad de enfriamiento	kcal/h	1,900	2,400	3,100	3,900	4,800	6,100	7,700	12,000	
	Btu/h	7,500	9,600	12,300	15,400	19,100	24,200	30,700	47,800	
	kW	2.2	2.8	3.6	4.5	5.6	7.1	9.0	14.0	
Capacidad de calefacción	kcal/h	2,200	2,800	3,400	4,300	5,400	6,900	9,000	13,800	
	Btu/h	8,500	10,900	13,600	17,100	21,500	27,300	34,100	54,600	
	kW	2.5	3.2	4.0	5.0	6.3	8.0	10.0	16.0	
Consumo de energía	Enfriamiento	kW	0.081	0.095	0.132	0.157	0.216	0.278		
	Calefacción	kW	0.048	0.062	0.099	0.124	0.183	0.245		
Estructura		Placa de acero galvanizado								
Flujo de aire (A/M/B)	m³/min	7/5	9/6.5	12/9	16.5/13	26/21	33/25			
	cfm	247/177	318/229	424/318	582/459	918/741	1,165/883			
Nivel de sonido (A/M/B)		dB(A)	32/27	34/28	34/29	37/32	39/34	44/38		
Dimensiones (Al. x An. x Prof.)		m	305x775x600		305x990x600	305x1,175x600	305x1,665x600			
Peso de la máquina		kg	26		31	32	35	47	48	
Conexiones de tuberías	Líquido	mm	φ6.4				φ9.5			
	Gas		φ12.7				φ15.9			
	Drenaje		VP25 (diám. ext., 32/diám. int., 25)							
Panel (opcional)	Modelo		BYBC32G-W1		BYBC50G-W1	BYBC63G-W1	BYBC125G-W1			
	Color		Blanco (10Y9/0.5)							
	Dimensiones (Al. x An. x Prof.)	mm	53x1,030x680		53x1,245x680	53x1,430x680	53x1,920x680			
	Peso		kg	8.0		8.5	9.5	12.0		

Figura 32. Datos Unidades Evaporadora Tipo Cassette de 2 vía. (Daikin, 2015)



Figura 33. Unidades Evaporadora Tipo Cassette de 4 vía. (Daikin, 2015)

MODELO		FXFQ25AVE	FXFQ32AVE	FXFQ40AVE	FXFQ50AVE	FXFQ63AVE	FXFQ71AVE
Fuente de energía		1 fase, 60 Hz, 220 V					
Capacidad de enfriamiento	kcal/h	2,400	3,100	3,900	4,800	6,100	6,900
	Btu/h	9,600	12,300	15,400	19,100	24,200	27,300
	kW	2.8	3.6	4.5	5.6	7.1	8.0
Capacidad de calefacción	kcal/h	2,800	3,400	4,300	5,400	6,900	7,700
	Btu/h	10,900	13,600	17,100	21,500	27,300	30,700
	kW	3.2	4.0	5.0	6.3	8.0	9.0
Consumo de energía	Enfriamiento	0.053		0.063	0.074	0.086	0.111
	Calefacción	0.045		0.055	0.069	0.080	0.100
Estructura		Placa de acero galvanizado					
Flujo de aire (A/M/B)	m ³ /min	12.5/10.8/9.0		13.5/11.3/9.0	15.4/12.8/10.2	16.1/13.6/11	23.1/18.8/14.5
	cfm	441/381/318		477/399/318	544/452/360	568/480/388	815/664/512
Nivel de sonido (A/M/B)	dB(A)	30/28/25		32/29/25	33/30/27	34/31/28	38/34/29
Dimensiones (Al. x An. x Prof.)	mm	204x840x840					246x840x840
Peso de la máquina	kg	20			21	24	
Conexiones de tuberías	Líquido	φ6.4				φ9.5	
	Gas	φ12.7				φ15.9	
	Drenaje	VP25 (diám. ext., 32/diám. int., 25)					
Panel (opcional)	Modelo	BYCP125K-W1					
	Color	Blanco Fresh					
	Dimensiones (Al. x An. x Prof.)	mm	50x950x950				
	Peso	kg	5.5				

Figura 34. Datos Unidades Evaporadora Tipo Cassette de 4 vía (De 2400 Kcal/h a 6900 Kcal/h). (Daikin, 2015)

MODELO		FXFQ80AVE	FXFQ90AVE	FXFQ100AVE	FXFQ112AVE	FXFQ125AVE
Fuente de energía		1 fase, 60 Hz, 220 V				
Capacidad de enfriamiento	kcal/h	7,700	8,600	9,600	10,800	12,000
	Btu/h	30,700	34,100	38,200	42,700	47,800
	kW	9.0	10.0	11.2	12.5	14.0
Capacidad de calefacción	kcal/h	9,000	9,600	10,800	12,000	13,800
	Btu/h	34,100	38,200	42,700	47,800	54,600
	kW	10.0	11.2	12.5	14.0	16.0
Consumo de energía	Enfriamiento	0.111	0.156		0.220	
	Calefacción	0.100	0.142		0.210	
Estructura		Placa de acero galvanizado				
Flujo de aire (A/M/B)	m ³ /min	23.1/18.8/14.5	25.4/21.1/16.8		30/25/20	
	cfm	815/664/512	897/745/593		1,059/883/706	
Nivel de sonido (A/M/B)	dB(A)	38/34/29	41/37/33		44/39/34	
Dimensiones (Al. x An. x Prof.)	mm	246x840x840			288x840x840	
Peso de la máquina	kg	24			26	
Conexiones de tuberías	Líquido	φ9.5				
	Gas	φ15.9				
	Drenaje	VP25 (diám. ext., 32/diám. int., 25)				
Panel (opcional)	Modelo	BYCP125K-W1				
	Color	Blanco Fresh				
	Dimensiones (Al. x An. x Prof.)	mm	50x950x950			
	Peso	kg	5.5			

Figura 35. Datos Unidades Evaporadora Tipo Cassette de 4 vía (De 7700 Kcal/h a 12000 Kcal/h). (Daikin, 2015)



Figura 36. Unidades Evaporadora Tipo Piso Cielo. (Daikin, 2015)

MODELO		FXHQ32MAVE	FXHQ63MAVE	FXHQ100MAVE
Fuente de energía		1 fase, 220-240 V/220 V, 50/60 Hz		
Capacidad de enfriamiento	kcal/h	3,100	6,100	9,600
	Btu/h	12,300	24,200	38,200
	kW	3.6	7.1	11.2
Capacidad de calefacción	kcal/h	3,400	6,900	10,800
	Btu/h	13,600	27,300	42,700
	kW	4.0	8.0	12.5
Consumo de energía	Enfriamiento	kW	0.142	0.145
	Calefacción		0.142	0.145
Color de la estructura		Blanco (10Y9/0.5)		
Flujo de aire (A/B)	m ³ /min	12/10	17.5/14	25/19.5
	cfm	424/353	618/494	883/688
Nivel de sonido (A/B)	dB(A)	36/31	39/34	45/37
Dimensiones (Al. x An. x Prof.)	mm	195x960x680	195x1,160x680	195x1,400x680
Peso de la máquina	kg	24	28	33
Conexiones de tuberías	Líquido	mm	φ6.4	φ9.5
	Gas		φ12.7	φ15.9
	Drenaje		VP20 (diám. ext. , 26/diám. int., 20)	

Figura 37. Datos Unidades Evaporadora Tipo Cassette de 4 vía (De 7700 Kcal/h a 1200 Kcal/h). (Daikin, 2015)

Para el tema de los evaporadores serán requeridos una totalidad de 129 equipos, dentro de los cuales podemos encontrar cuatro (4) piso cielos, veintiún (21) cassette de 1 vía, dieciséis (16) cassette de 2 vía y ochenta y ocho (88) cassette de 4 vías, esto da una carga total de 779.2 KW, 2,659,100.00 BTU/h o su equivalente en Kcal/h con un total de 670,529.3.

REFERENCIAS

- AHRI. (2016). *Guideline for Assignment of Refrigerant Container Colors*. Arlington, VA 22201, USA: 2111 Wilson Boulevard, Suite 500.
- ASHRAE. (2010). *Handbook of Heating, Ventilation and Air Conditioning for Design and Implementation*. New York: INDUSTRIAL PRESS INC.
- ASHRAE. (2017). *Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size*. NE, Atlanta: ASHRAE.
- Boylestad, R. L. (2004). *Introducción al Análisis de Circuitos*. México, D.F.: PEARSON EDUCACIÓN.
- Cengel, Y. A. (2008). *Termodinámica*. México D.F., México: Mcgraw-Hill.
- CNFL, C. N. (2021). *Tarifas Eléctricas*. San José: <https://www.cnfl.go.cr/documentos/transparencia/consolidado-tarifas.pdf>.
- Construpanel. (2021, Noviembre 11). *Constru Panel CR*. Retrieved from <http://construpanelcr.com/panel-fachada/>
- Daikin. (2013). VRV IV. In Daikin, *Manual de Instalación y de Funcionamiento* (p. 80). Oostende, Belgium.
- Daikin. (2015). *PCVMT1541 aprov, VRV IV*. <https://daikinlatam.com/product/vrv-iv/>.
- Diccionario de la Real Academia Español.(s.f.). <https://dle.rae.es/>
- DIGECA, D. d. (2015). *Directriz 011*. DIGECA.
- Fanger, P. (1973). *Thermal Comfort*. New York, 224 p.: McGraw-Hill Book Company.
- Google. (2021, Noviembre 11). *Google Earth*. Retrieved from <https://www.google.com/intl/es-419/earth/>
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico: McGraw hill.
- ICE. (2017). *Eficiencia Energética de las nuevas tecnologías en el sector RAC y sus regulaciones*. San José, Costa Rica: Laboratorio de Eficiencia Energética del ICE.

- IMN. (2021). *Estación Meteorológica IMN, Aranjuez*. San José, Costa Rica : <https://www.imn.ac.cr/especial/estacion.html>.
- IMN. (2021, Noviembre 1). *Instituto Meteorológico Nacional* . Retrieved from <https://www.imn.ac.cr/mapa>
- John R. Howell, R. O. (1990). *Principios de termodinámica para ingenieros*. Austin, Texas: Mc Graw Hill.
- Martín, J. (2006). *Termodinámica* . Sevilla, España : Biblioteca de la Universidad de Sevilla.
- NU. (2021). *Naciones Unidas, Climate Change*. <https://www.un.org/es/climatechange/>.
- ONU. (2021). *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente*. <https://www.un.org/ruleoflaw/es/un-and-the-rule-of-law/united-nations-environment-programme/>.
- Pita, E. G. (2005). *Acondicionamiento de aire, Principios y Sistemas*. México, D.F.: Compañía Editoria Continental.
- SCIJ. (2021). *Sistema Costarricense de Información Jurídica*.
- SICOP. (2021, Agosto). *SICOP*. Retrieved from <https://www.sicop.go.cr/>
- UNE, N. E. (2021). *ISO 7730:2005*. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/iso/?c=039155>.
- UNFCCC. (2021). *United Nations Framework Convention on Climate Change*. <https://unfccc.int/>.

APÉNDICES

Apéndice A. Eficiencia de Filtración y valor del MERV.

Tabla obtenida de ASHRAE 52.2.2017, páginas 29 y 30.



52_2_2017_COVID-1
9_20200401.pdf

Table 12-1 Minimum Efficiency Reporting Value (MERV) Parameters

Standard 52.2 Minimum Efficiency Reporting Value (MERV)	Composite Average Particle Size Efficiency, % in Size Range, μm			Average Arrestance, %
	Range 1 0.30 to 1.0	Range 2 1.0 to 3.0	Range 3 3.0 to 10.0	
1	N/A	N/A	$E_3 < 20$	$A_{avg} < 65$
2	N/A	N/A	$E_3 < 20$	$65 \leq A_{avg}$
3	N/A	N/A	$E_3 < 20$	$70 \leq A_{avg}$
4	N/A	N/A	$E_3 < 20$	$75 \leq A_{avg}$
5	N/A	N/A	$20 \leq E_3$	N/A
6	N/A	N/A	$35 \leq E_3$	N/A
7	N/A	N/A	$50 \leq E_3$	N/A
8	N/A	$20 \leq E_2$	$70 \leq E_3$	N/A
9	N/A	$35 \leq E_2$	$75 \leq E_3$	N/A
10	N/A	$50 \leq E_2$	$80 \leq E_3$	N/A
11	$20 \leq E_1$	$65 \leq E_2$	$85 \leq E_3$	N/A
12	$35 \leq E_1$	$80 \leq E_2$	$90 \leq E_3$	N/A
13	$50 \leq E_1$	$85 \leq E_2$	$90 \leq E_3$	N/A
14	$75 \leq E_1$	$90 \leq E_2$	$95 \leq E_3$	N/A
15	$85 \leq E_1$	$90 \leq E_2$	$95 \leq E_3$	N/A
16	$95 \leq E_1$	$95 \leq E_2$	$95 \leq E_3$	N/A

Apéndice B. Velocidad del aire a través del filtro, ASHRAE 52.2.2017, página 38.

9. The test airflow rate and net effective media area may be used to calculate media velocity:

$$\text{Media velocity, m/s (fpm)} = \frac{\text{Airflow rate, m}^3/\text{s (cfm)}}{\text{Effecitve media area, m}^2(\text{ft}^2)}$$

Apéndice C. Tabla representativa del color de los cilindros de refrigerante.



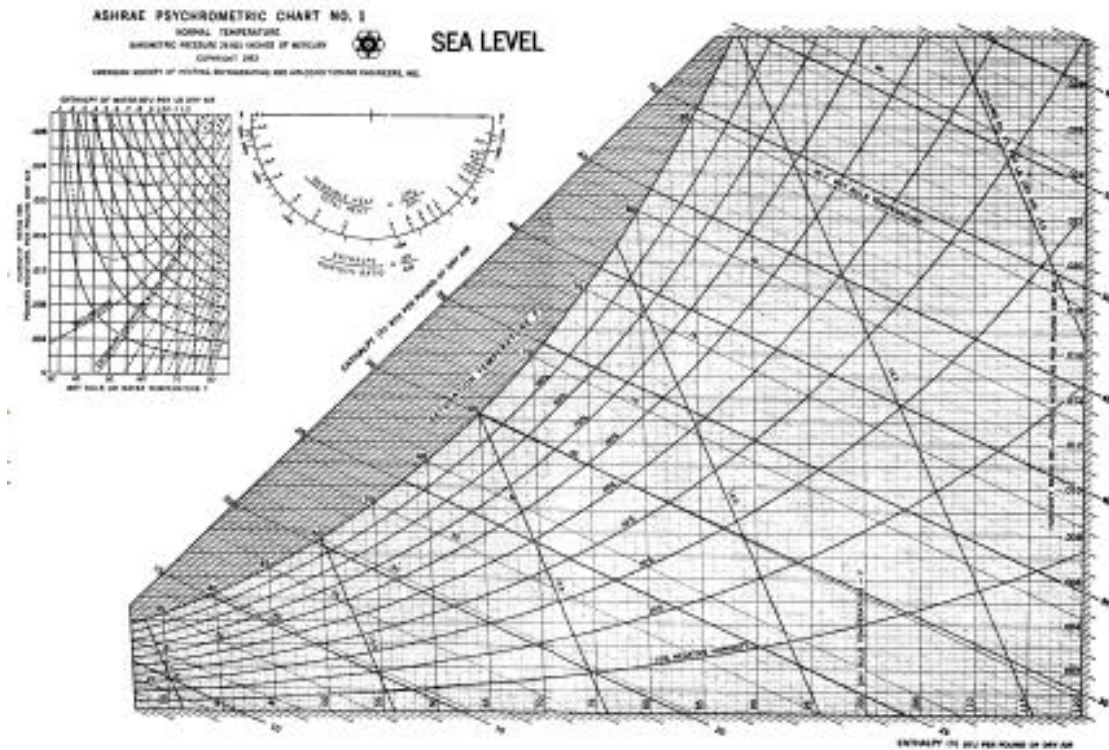
AHRI_Guideline_N_
2016.pdf

Obtenido del documento de la AHRI, guía para asignación del color de los contenedores de refrigerante, página 3.

R-125 ¹	Medium Brown (Tan)	465	II
R-134a	Light Blue (Sky)	2975	II
R-236fa	Dark Grey (Battleship)	424	II
R-245fa	Maroon	194	II
R-401A	Pinkish-Red (Coral)	177	II
R-401B	Yellow-Brown (Mustard)	124	II
R-401C	Blue-Green (Aqua)	3268	II
R-402A	Light Brown (Sand)	461	II
R-402B	Green-Brown (Olive)	385	II
R-403B ²	Light Purple (Lavender)	251	II
R-404A	Orange	021	II
R-407A	Lime Green	368	II
R-407B	Cream	156	II
R-407C	Medium Brown (Brown)	471	II
R-407D	Dark Brown (Chocolate)	450	II
R-407F	Green-Yellow-White	373	II
R-408A	Medium Purple (Purple)	248	II
R-409A ¹	Medium Brown (Tan)	465	II
R-410A	Rose	507	II
R-411A	Dark Purple (Violet)	266	IV
R-411B	Blue-Green (Teal)	326	IV
R-413A	Deep Blue	3015	II
R-414A	Beige	4545	II
R-414B	Medium Blue (Blue)	2995	II
R-416A	Yellow-Green (Lime)	381	II
R-417A	Green	354	II
R-421A	Light Green-Blue	333	II
R-422A	Yellow-Orange	128	II
R-422D	Green-Yellow	375	II
R-423A	Wedge Wood Blue	292	II
R-424A	Black	None	II
R-426A	Pastel Orange	804	II
R-427A	Green-Blue (Jungle Green)	3405	II
R-428A	Traffic Yellow	803	II
R-434A	Sulfur Yellow	388	II

R-437A	Royal Blue	286	II
R-438A	Blue Jay	2727	II
R-442A	Night Blue	268	II
R-448A	Gentian Blue	300	II
R-449A	Grayish Blue	7707	II
R-450A	Sapphire Blue	2955	II
R-452A	Metallic Blue	2746	II
R-453A	Dark Purple (Violet)	266	II
R-455A	Sea Foam Green	3395	IV
R-500	Yellow	109	II
R-502 ²	Light Purple (Lavender)	251	II
R-503	Blue-Green (Aqua)	3268	III
R-507A	Blue Green (Teal)	326	II
R-508B	Dark Blue (Navy)	302	III
R-513A	Sky Blue	7460	II
R-514A	Pinkish Purple	523	II

Apéndice D. Tabla psicométrica. ASHRAE, 2010. Página 2-10.



Apéndice E. Escala de sensación térmica, UNE ISO 7730:2006, página 9.

Tabla 1 – Escala de sensación térmica de siete niveles

+ 3	Muy caluroso
+ 2	Caluroso
+ 1	Ligeramente caluroso
0	Neutro
- 1	Ligeramente fresco
- 2	Fresco
- 3	Frío

Apéndice F. Voto medio estimado (PMV), UNE ISO 7730:2006, página 9.

Calcular el PMV empleando las ecuaciones (1) a (4):

$$PMV = [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-5} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \quad (1)$$

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 \cdot (M - W) - I_{cl} \cdot \left\{ 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \right\} \quad (2)$$

$$n_c = \begin{cases} 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} & \text{para } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} > 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \\ 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} & \text{para } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} < 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \end{cases} \quad (3)$$

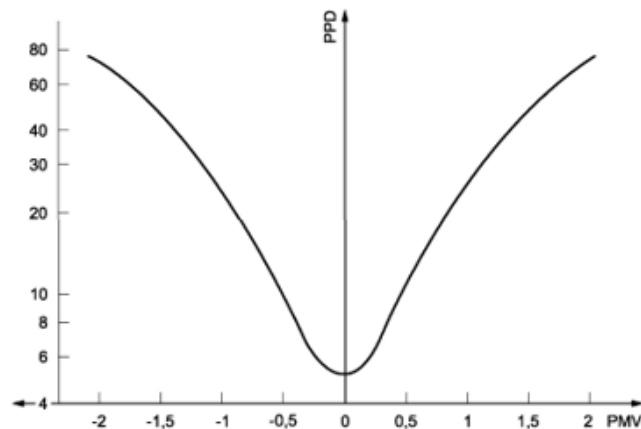
$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 I_{cl} & \text{para } I_{cl} \leq 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \\ 1,05 + 0,645 I_{cl} & \text{para } I_{cl} > 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \end{cases} \quad (4)$$

Apéndice G. (PPD), UNE ISO 7730:2006, página 11.

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2) \quad (5)$$



norma-une-en-iso-7730-convertido.doc



Apéndice H. Normativas, protocolos y leyes.



directriz_011-minae_0.pdf



directriz_017_planes_de_eficiencia_ener



Gestion-y-uso-seguro-de-refrigerantes.



Normas Internacionales de Refrigeración



Protocolo de Kyoto.pdf



Protocolo de Montreal.pdf

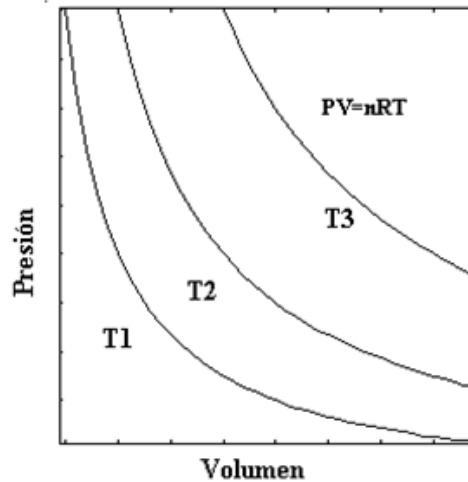
Apéndice I. Tarifas eléctricas, Compañía Nacional de Fuerza y Luz.

Tarifa Comercios y Servicios T-CO	
Bloques de consumo	
Consumo menor o igual a 3.000 kWh cada kWh	¢101,10
Por consumo de energía	
Bloque de 0 a 3.000 kWh Cargo fijo	¢182.610,00
Bloque mayor a 3.000 kWh cada kWh	¢60,87
Cargo por potencia	
Bloque de 0 a 8 kW Cargo fijo	¢81.160,80
Bloque mayor a 8 kW cada kW	¢10.145,10



consolidado-tarifas.pdf

Apéndice J. Ley de los gases ideales, Termodinámica JM Martín, 2006, página 23.



Para una cantidad fija de gas PV/T es constante. De esta forma $\frac{P_2V_2}{T_2} = \frac{P_1V_1}{T_1}$ para dos situaciones distintas.

Apéndice K. Leyes de la termodinámica, John R. Howell y Richard O. Buckius.

Un cambio de la **energía** total (cinética, potencial e interna) es igual al trabajo realizado en la masa de control **más** el calor transferido a dicha masa.

Matemáticamente, lo anterior se expresa como

$$dE = \delta Q + \delta W \quad (4.6)$$

La **convención** de signos indica que toda la energía transferida *hacia* el sistema es positiva (Fig. 4.1). No hay referencia a ninguna trayectoria en particular. Por lo tanto, el cambio de la energía de la masa de control entre el estado 1 y el estado 2 es igual al calor transferido a la masa de control siguiendo cualquier trayectoria más el trabajo realizado sobre dicha masa, de nuevo, a lo largo de cualquier trayectoria. La ecuación (4.6) se integra entre esos dos estados y se obtiene

$$E_2 - E_1 = {}_1Q_2 + {}_1W_2 \quad (4.7)$$

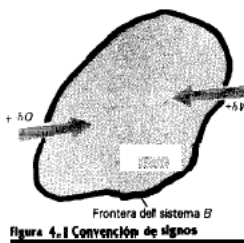


Figura 4.1 Convención de signos

5.2 Entropía y segunda ley para un sistema aislado

El desorden microscópico de un sistema queda descrito por una propiedad del sistema llamada **entropía**. Los ejemplos anteriores indican que en un sistema aislado, después de quitar las restricciones internas, se presentan procesos que no son cuantificados por la primera ley. Estos hechos se combinan en el enunciado de la segunda ley de la termodinámica:

La **entropía** S , una propiedad extensiva del equilibrio, siempre debe aumentar o permanecer constante en un sistema aislado.

Esto se expresa matemáticamente como

$$dS_{\text{aislado}} \geq 0$$

o

$$(S_{\text{final}} - S_{\text{inicial}})_{\text{aislado}} \geq 0$$

(5.1)

Apéndice L. Tablas para cálculo de cargas térmicas, Trane Company.



TABLAS DE AIRE ACONDICIONADO.p

TABLA 4 - FACTOR SOLAR (S.F.) A TRAVÉS DEL VIDRIO
Ejemplo (foto de área)

Cuba, R. C. Laredo (0° norte)

EPOCA		HORA SOLAR					
ORIENT.	8	10	12	14	16	18	
J U N I O	N	50	44	41	44	50	2
	NE	153	167	28	14	11	2
	E	195	98	14	14	11	2
	SE	55	25	14	14	11	2
A G O	S	11	14	14	14	11	2
	SO	8	14	14	25	55	18
	O	8	14	14	98	153	54
	Horiz.	107	205	243	295	107	4
D I C	N	29	33	30	33	39	5
	NE	149	109	22	14	11	1
	E	198	99	14	14	11	1
	SE	66	32	14	14	11	1
F E B	S	11	14	14	14	11	1
	SO	11	14	14	32	66	26
	O	11	14	14	98	158	51
	Horiz.	107	210	247	210	107	3
M A R	N	16	15	14	15	16	1
	NE	130	80	14	14	11	1
	E	183	104	14	14	11	1
	SE	94	60	14	14	11	1
M A Y	S	11	14	14	14	11	1
	SO	11	14	14	60	94	18
	O	11	14	14	104	183	25
	Horiz.	105	213	250	213	105	2
J U N	N	11	14	14	14	11	1
	NE	105	45	14	14	11	1
	E	164	106	14	14	11	1
	SE	127	94	21	14	11	1
A G O	S	13	24	28	24	13	1
	SO	11	14	21	94	127	1
	O	11	14	14	106	164	1
	Horiz.	97	207	247	207	97	1

CORRECCIONES		
Marco metálico o aluminio y 1/0.85 o 1.17	Altitud +0.7% por 1000 pies	Punto de rocío inf. a 67°F sup. a 67°F +7% por 109F -7% por 105F

TABLE 6 — SHADING COEFFICIENTS FOR SINGLE GLASS AND INSULATING GLASS (WITHOUT INSIDE SHADING)

A. SINGLE GLASS		
TYPE OF GLASS	NOMINAL THICKNESS	SHADING COEFFICIENT
CLEAR	1/8 in. ^b	1.00
	1/4 in. ^b	0.94
	3/8 in. ^b	0.90
	1/2 in. ^b	0.87
HEAT ABSORBING ^a	1/8 in.	0.83
	1/4 in.	0.69
	3/8 in.	0.60
	1/2 in.	0.53
B. INSULATING GLASS ^c		
CLEAR OUT, CLEAR IN	1/8 in. ^c	0.88
CLEAR OUT, CLEAR IN	1/4 in. ^c	0.81
HEAT ABSORBING ^d OUT, CLEAR IN	1/4 in. ^c	0.55

^aRefers to factory-fabricated units with 3/16, 1/4 or 1/2 in. air space or to prime windows plus storm sash.

^bRefer to manufacturer's literature for values.

^cThickness of each pane of glass, not thickness of assembled unit.

^dRefers to gray, bronze and green tinted heat-absorbing float glass.

TABLE 7 — SHADING COEFFICIENTS FOR SINGLE GLASS WITH INSIDE SHADING VENETIAN BLINDS, DRAPERIES, OR ROLLER SHADES

	ESPESON NOMINAL THICKNESS ^a	TYPE OF SHADING				
		DRAPERIES & VENETIAN BLINDS	VENETIAN BLINDS	ROLLER SHADE		
				OPAQUE		TRANSLUCENT
		MEDIUM	LIGHT	DARK	WHITE	LIGHT
CLEAR CLEAR PATTERN HEAT-ABSORBING PATTERN TINTED	3/32 to 1/2 1/8 to 1/2 1/8 3/16, 7/32	0.64	0.56	0.59	0.25	0.39
HEAT ABSORBING ^b HEAT-ABSORBING PATTERN TINTED	3/16, 1/4 3/16, 1/4 1/8, 7/32	0.57	0.53	0.45	0.30	0.36
HEAT-ABSORBING OR PATTERN HEAT-ABSORBING ^b	— 3/8	0.54	0.52	0.40	0.28	0.32
HEAT ABSORBING OR PATTERN	—	0.42	0.40	0.36	0.28	0.31
REFLECTIVE COATED GLASS						
SHADING COEFFICIENT = 0.30		0.25	0.23			
MANUFACTURER'S		0.33	0.29			
RATING WITHOUT		0.42	0.36			
INDOOR SHADING		0.50	0.44			

^aRefer to manufacturer's literature for values.

^bRefers to gray, bronze and green tinted heat-absorbing glass.

TABLE 12 — U-COEFFICIENT, EXTERIOR VERTICAL PANEL
(WITHOUT INSIDE SHADING) **SHU SONNSA INTERIOR**

DESCRIPTION	SUMMER U	WINTER	INTERIOR
FLAT GLASS			
Single Glass	1.04	1.10	0.73
Insulating Glass; Double			
3/16 in. Air Space (with 1/8 in. glass)	0.85	0.65	0.51
1/4 in. Air Space (with 1/8 in. glass)	0.81	0.56	0.49
1/2 in. Air Space (with 1/4 in. glass)	0.58	0.49	0.46
1/2 in. Air Space, Low Emissance Coating:			
$e=0.20$	0.38	0.32	0.27
$e=0.40$	0.45	0.38	0.38
$e=0.60$	0.51	0.43	0.42
Insulating Glass; Triple			
1/4 in. Air Space (1/8 in. glass)	0.44	0.35	0.38
1/2 in. Air Space (1/4 in. glass, 1/8 in. glass, 1/4 in. glass)	0.39	0.31	0.30
Storm Windows			
1 in. to 4 in. Air Space (1/8 in. glass)	0.50	0.50	0.44
PLASTIC SHEET			
Single Glazed			
1/8 in. Thick	0.88	1.07	—
1/4 in. Thick	0.80	0.95	—
1/2 in. Thick	0.76	0.81	—
Insulating Unit — Double			
1/4 in. Air Space	0.66	0.68	—
1/2 in. Air Space	0.45	0.43	—

TABLE 13 — U-COEFFICIENT, EXTERIOR VERTICAL PANEL
(WITH INSIDE SHADING — VENETIAN BLINDS, DRAPERIES & ROLLER SHADES) **COLL AC**

DESCRIPTION	SUMMER U	WINTER
FLAT GLASS		
Single Glass	0.81	0.83
Insulating Glass; Double		
3/16 in. Air Space (with 1/8 in. glass)	0.58	0.52
1/4 in. Air Space (with 1/8 in. glass)	0.55	0.48
1/2 in. Air Space (with 1/4 in. glass)	—	—
1/2 in. Air Space, Low Emissance:		
$e=0.20$	0.37	0.30
$e=0.40$	0.44	0.38
$e=0.60$	0.48	0.38
Insulating Glass; Triple		
1/4 in. Air Space (1/8 in. glass)	0.40	0.31
1/2 in. Air Space (1/4 in. glass, 1/8 in. glass, 1/4 in. glass)	0.35	0.28
Storm Windows		
1 in. to 4 in. Air Space (with 1/8 in. glass)	0.48	0.47

TABLE 14 — U-COEFFICIENT, HORIZONTAL PANELS (SKYLIGHTS),
FLAT GLASS, AND PLASTIC DOMES **SUPERFICIES HORIZONTAL**

DESCRIPTION	SUMMER	WINTER	INTERIOR
FLAT GLASS			
Single Glass	0.83	1.20	0.96
Insulating Glass; Double			
3/16 in. Air Space (with 1/8 in. glass)	0.67	0.70	0.62
1/4 in. Air Space (with 1/8 in. glass)	0.54	0.55	0.52
1/2 in. Air Space (with 1/4 in. glass)	0.49	0.50	0.46
1/2 in. Air Space, Low Emissance Coating:			
$e=0.20$	0.36	0.48	0.39
$e=0.40$	0.42	0.52	0.45
$e=0.60$	0.46	0.56	0.50
PLASTIC DOMES			
Single — Walled	0.80	1.15	—
Double — Walled	0.46	0.70	—

TABLE 15 — COOLING LOAD TEMPERATURE DIFFERENCE — (C.L.T.D.)

PEAK LOAD	CLTD (°F.)
8 AM	0
10 AM	4
12 NOON	9
2 PM	13
4 PM	14
6 PM	12
8 PM	8

{Values for Table 15 are based on design conditions of 85°F. Outdoor temperature; 78°F. Indoor temperature; 21.3°F. Daily Range and 85°F. Outdoor Daily Average.

EXAMPLE

Referring to the example on Page 18, it is found that the C.L.T.D. Correction for the Lexington Area is -2°F. Assume a Peak Load time to be 4:00 PM.

From Table 15, the C.L.T.D. value is found to be 14°F. Applying the C.L.T.D. Correction, this new C.L.T.D. value for the Lexington Area becomes 14°F. minus 2°F. or 12°F.

TABLE 16 U-COEFFICIENTS FOR WALLS

CONS. NO.	DESCRIPTION OF CONSTRUCTIONS	WEIGHT LB./FT ²	U-COEFFICIENT BTUH/FT ² /°F	WALL * GROUP
1	4-IN FACE BRICK + (BRICK)			
	a. Air Space + 4-in. Face Brick	83.2	0.37	C
	b. 4-in. Common Brick no interior finish	81.6	0.48	D
	c. Same as (1b) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	87.85	0.43	D
	d. Air Space + 4-in. Common Brick no interior finish	81.6	0.32	C
	e. Same as (1d) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	87.85	0.31	C
	f. 8-in. common Brick no interior finish	121.6	0.34	B
	g. Same as (1f) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	127.85	0.32	B
	h. Air Space + 8-in. Common Brick no interior finish	121.6	0.26	A
	i. Same as (1h) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	127.85	0.25	A
2	4-IN FACE BRICK + (H.W. CONCRETE)			
	a. Air Space + 2-in. Concrete, no interior finish	65.0	0.41	C
	b. Same as (2a) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	71.25	0.38	C
	c. Air Space + 4-in. Concrete, no interior finish	85.2	0.37	B
	d. Same as (2c) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	94.45	0.35	B
	e. Air Space + 8-in. or more of Concrete, no interior finish	135.0	0.32	A
	f. Same as (2e) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	141.25	0.30	A
3	4-IN FACE BRICK + (L.W. CONCRETE BLOCK)			
	a. 4-in. Block, no interior finish	54.3	0.36	E
	b. Same as (3a) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	60.55	0.33	E
	c. Air Space + 4-in. Block, no interior finish	54.3	0.26	D
	d. Same as (3c) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	60.55	0.25	D
	e. 8-in. Block, no interior finish	67.0	0.30	D
	f. Same as (3e) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	73.25	0.28	D
	g. Air Space + 6-in. or 8-in. Block, no interior finish	67.0	0.23	C
h. Same as (3g) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	73.25	0.23	C	
4	4-IN FACE BRICK + (H.W. CONCRETE BLOCK)			
	a. 4-in. Block, no interior finish	51.9	0.48	E
	b. Same as (4a) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	58.15	0.45	E
	c. Air Space + 4-in. Block, no interior finish	51.9	0.33	D
	d. Same as (4c) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	58.15	0.32	D
	e. 8-in. Block, no interior finish	62.3	0.40	D
	f. Same as (4e) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	68.55	0.38	D
	g. Air Space + 6-in. Block, no interior finish	62.3	0.29	C
h. Same as (4g) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	104.5	0.28	C	
5	4-IN FACE BRICK + (CLAY TILE)			
	a. 4-in. Tile, no interior finish	84.9	0.42	D
	b. Same as (5a) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	71.15	0.39	D
c. Air Space + 4-in. Tile, no interior finish	84.9	0.30	D	

Table 16 continued on next page

* To be used with Table 22 (CLTD for Dark Sunlit Walls)

TABLE 17 — U-COEFFICIENT FOR DOORS^a

THICKNESS ^b	SOLID WOOD DOOR (MINERAL FIBER INSULATION)		
	SUMMER	WINTER	INTERIOR ^c
1-inch	0.61	0.61	0.48
1.25-inch	0.53	0.55	0.43
1.5-inch	0.47	0.49	0.38
2-inch	0.42	0.43	0.35
1.75-inch	STEEL DOOR (MINERAL FIBER INSULATION)		
	SUMMER	WINTER	INTERIOR
A ^d	0.20	0.20	0.41
B ^e	0.19	0.19	0.18
C ^f	0.45	0.47	0.28

FOOTNOTES

- ^aNominal thickness.
- ^bMineral fiber core (2 lb/ft³).
- ^cSolid urethane foam core with thermal break.
- ^dSolid polystyrene core with thermal break.
- ^eUse Group F for doors in the CLTD tables (Page 41).
- ^fUse actual temperature difference.

TABLE 18 — U-COEFFICIENT FOR ROOFS

CONSTRUCTION NUMBER AND DETAIL		HEAT TRANSMISSION COEFFICIENT U Btuh per sq ft per°F.							
		PREFORMED INSULATION BETWEEN DECK & ROOF Nominal Thickness, in.							
		None		R-1 (1/2")		R-3 (1")	R-6 (2")	R-8 (3")	
		Clg.	Htg.	Clg.	Htg.	Clg. & Htg.	Clg. & Htg.	Clg. & Htg.	
FLAT ROOFS — BUILT-UP ON DECK WITH & WITHOUT SUSPENDED CEILING									
15 4 in. Gravel-Aggregate Concrete Slab Deck Under Built-Up Roof		ROOF GROUP U					ROOF GROUP V		
a.	No Ceiling	.55	.70	.31	.35	.22	.14	.10	
b.	3/8 in. dry-wall ceiling	.32	.38	.22	.25	.17	.12	.09	
c.	3/8 in. gypsum lath and 1/2 in. plaster ceiling	.31	.37	.22	.24	.17	.11	.09	
d.	1/2 in. acoustical tile ceiling on 3/8 in. gypsum board	.23	.26	.17	.19	.14	.10	.08	

TABLE 19 — U-COEFFICIENTS FOR FLOORS AND CEILINGS

CONSTRUCTION DETAIL		HEAT TRANSMISSION COEFFICIENT U Btuh per sq. ft. per°F.							
		INSULATION ADDED TO BASIC CONSTRUCTION							
		Blanket, Batt or Fill Type Thickness							
		None		R-8 (2")		R-11 (3")	R-15 (4")	R-22 (8")	
Clg.	Htg.	Clg.	Htg.	Clg. & Htg.	Clg. & Htg.	Clg. & Htg.			
WOOD AND CONCRETE FLOORS									
22 WOOD FRAME FLOORS		(USE ACTUAL TEMP. DIFF.)							
a.	With subfloor, hardwood flooring. No ceiling. Over untreated, open, occupied, space or kitchen, laundry, etc.	.28	.34	.09	.10	.07	.05	.04	
b.	Same as (22a) but with 1" acoustical tile on 3/8" gypsum board or 1/2" insulating board only	.17	.19	.08	.08	.06	.05	.04	
c.	Same as (22a) but with metal lath and 3/8" plaster	.21	.26	.08	.09	.06	.05	.04	
23 CONCRETE FLOORS		(USE ACTUAL TEMP. DIFF.)							
a.	4" to 6" concrete floor, tile or linoleum, plaster below	.42	.57	.10	.11	.07	.06	.04	
b.	Same as (23a) but with suspended 1/2" tile on 3/8" gypsum board ceiling	.21	.25	.08	.09	.06	.05	.04	

TABLE 22 — COOLING LOAD TEMPERATURE DIFFERENCE (CLTD)

(DARK SUNLIT WALLS NORTH LATITUDE^a)

WALL FACING	AM				PM			
	8	10	12	2	4	6	8	
GROUP A WALLS								
N	12	11	10	10	10	11	12	
NE	15	15	15	16	18	18	19	
E	19	18	19	21	23	24	25	
SE	19	18	18	19	21	23	24	
S	16	16	14	14	15	17	19	
SW	21	19	18	17	17	18	22	
W	23	21	19	18	18	19	22	
NW	18	16	15	14	14	15	17	
GROUP B WALLS								
N	10	9	8	9	10	12	14	
NE	12	13	15	17	19	20	21	
E	15	15	19	22	25	26	27	
SE	15	14	16	20	23	25	26	
S	13	11	11	12	15	19	21	
SW	18	15	14	13	15	20	25	
W	19	17	15	14	15	19	25	
NW	15	13	12	11	12	15	19	
GROUP C WALLS								
N	8	7	8	9	12	14	16	
NE	10	13	17	20	22	23	23	
E	12	16	22	27	29	30	29	
SE	12	13	19	24	25	29	29	
S	10	9	10	14	20	24	26	
SW	15	12	11	13	18	26	32	
W	16	13	12	13	16	24	32	
NW	13	10	10	11	13	18	25	
GROUP D WALLS								

TABLE 23 — COOLING LOAD TEMPERATURE DIFFERENCES (DARK FLAT ROOFS^{a,b})

ROOF GROUP NO.	ROOF CONSTRUCTION DESCRIPTION	WEIGHT lb/FT ²	AM			PM			
			8	10	12	2	4	6	8
WITHOUT SUSPENDED CEILING									
H	Steel Sheet with 1-in Insulation	7	19	49	71	79	70	45	18
I	Steel Sheet with 2-in Insulation	8	19	49	71	79	70	45	18
J	1-in Wood with 1-in Insulation	8	4	27	52	70	74	62	38
K	1-in Wood with 2-in Insulation	8	3	16	39	57	64	57	37
L	2.5-in Wood with 1-in Insulation	13	6	9	20	34	48	55	54
M	2.5-in Wood with 2-in Insulation	13	9	9	17	29	41	49	50
N	4-in Wood with 1-in Insulation	17	20	17	17	21	26	36	41
O	4-in Wood with 2-in Insulation	18	20	17	17	21	28	36	41
P	4-in Light Weight Concrete	18	1	20	44	64	73	66	45
Q	6-in Light Weight Concrete	24	1	7	23	43	58	64	57
R	8-in Light Weight Concrete	31	9	7	13	25	39	50	54
S	2-in Heavy Weight Concrete with 1-in Insulation	29	3	20	41	59	66	62	45
T	2-in Heavy Weight Concrete with 2-in Insulation	29	3	20	41	59	66	62	45
U	4-in Heavy Weight Concrete with 1-in Insulation	52	8	14	26	40	50	53	48
V	4-in Heavy Weight Concrete with 2-in Insulation	52	8	14	26	40	50	53	48
W	6-in Heavy Weight Concrete with 1-in Insulation	75	14	16	22	31	40	45	44
X	6-in Heavy Weight Concrete with 2-in Insulation	75	14	16	22	31	40	45	44
Y	Roof Terrace System	75	14	13	18	26	36	44	46

TABLE 28 — RATES OF HEAT GAIN FROM OCCUPANTS OF CONDITIONED SPACES (BTUH)^a

DEGREE OF ACTIVITY	TYPICAL APPLICATION	TOTAL HEAT ADULT MALE	TOTAL HEAT ADJUSTED ^b	SENSIBLE HEAT	LATENT HEAT
Seated at rest	Theater, movie	400	350	210	140
Seated, very light work writing	Offices, hotels, apts.	480	420	230	190
Seated, eating	Restaurant	520	580	255	325
Seated, light work typing	Offices, hotels, apts.	640	510	255	255
Standing, light work or walking slowly	Retail Store, bank	800	640	315	325
Light bench work	Factory	880	780	345	435
Walking, 3 mph, light machine work	Factory	1040	1040	345	695
Bowling ^c	Bowling Alley	1200	960	345	615
Moderate dancing	Dance Hall	1360	1280	405	875
Heavy work, heavy machine work, lifting	Factory	1600	1600	565	1035
Heavy work, athletics	Gymnasium	2000	1800	635	1165

Maximum Service Factors

Horsepower	1/20-1/8	1/6-1/3	1/2-3/4	1 and up
AC Open Type	1.4	1.35	1.25	1.15
DC Open Type	—	1.0	1.0	1.0

No overload is allowable with enclosed motors.

TABLE 29 — TYPICAL ELECTRIC MOTOR EFFICIENCIES ^a

MOTOR NAME PLATE ^c (HP)	MOTOR TYPE	NOMI- NAL (RPM)	FULL LOAD MOTOR EFF (%)	LOCATION OF EQUIPMENT WITH RESPECT TO CONDITIONED SPACE OR AIR STREAM ^b		
				MOTOR IN-DRIVEN MACHINES IN	MOTOR OUT-DRIVEN MACHINE IN	MOTOR IN-DRIVEN MACHINE OUT
				(HP X 2545 % EFF.)	(HP X 2545 % EFF.)	(HP X 2545 (1-% Eff) % EFF.)
BTUH						
0.05	SHADED POLE	1500	35	364	128	236
0.08	SHADED POLE	1500	35	582	204	379
0.125	SHADED POLE	1500	35	909	318	591
0.16	SHADED POLE	1500	35	1163	407	755
0.25	SPLIT PHASE	1750	54	1178	638	542
0.33	SPLIT PHASE	1750	56	1499	840	660
0.5	SPLIT PHASE	1750	60	2121	1273	849
0.75	3-PHASE	1750	72	2651	1909	742
1.0	3-PHASE	1750	75	3393	2545	848
1.5	3-PHASE	1750	77	4958	3818	1140
2.0	3-PHASE	1750	79	6443	5090	1353
3.0	3-PHASE	1750	81	9426	7635	1791
5.0	3-PHASE	1750	82	15518	12725	2793
7.5	3-PHASE	1750	84	22723	19088	3636
10.0	3-PHASE	1750	85	29941	25450	4491
15.0	3-PHASE	1750	86	44389	38175	6215
20.0	3-PHASE	1750	87	58505	50900	7606
25.0	3-PHASE	1750	88	72901	63625	8676
30.0	3-PHASE	1750	89	85787	76350	9437
40.0	3-PHASE	1750	89	114382	101800	12582
50.0	3-PHASE	1750	89	142977	127250	15728
60.0	3-PHASE	1750	89	171573	152700	18873
75.0	3-PHASE	1750	90	212083	190875	21208
100.0	3-PHASE	1750	90	282777	254500	28278
125.0	3-PHASE	1750	90	353472	318125	35347
150.0	3-PHASE	1750	91	419505	381750	37755
200.0	3-PHASE	1750	91	559341	609000	50341
250.0	3-PHASE	1750	91	699176	636250	62926

TABLE 31 — VENTILATION REQUIREMENTS FOR OCCUPANTS

DESCRIPTION	ESTIMATED PERSONS PER 1000 FT ² FLOOR AREA	REQUIRED VENTILATION (CFM/PERSON)
COMMERCIAL		
Public Rest Rooms	100	16
General Requirements — Merchandising (apply to all forms unless specially noted) Sales Floors (Basement & Ground Floor)	30	7
Sales Floor (Upper Floors)	20	7
Storage Areas (Serving Sales Areas & Storerooms)	5	5
Dressing Rooms	—	7
Malls and Arcades	40	7
Shipping and Receiving Areas	10	15
Warehouses	5	7
Elevators	—	7
Meat Processing Rooms	10	5
Pet Shops ^a	—	1.0 ^a
Florists ^b	10	5 ^b
Greenhouses ^b	1	5 ^b
Bank Vaults	—	5
Dining Rooms	70	10
Kitchens ^c	20	30
Cafeterias, Short Order; Drive-Ins, Seating Areas	100	30
Bars (Predominantly Stand-up)	150	30
Cocktail Lounges	100	30
Hotels, Motels, Resorts Bedrooms	5	7
Living Rooms (Suites)	20	10

DESCRIPTION	ESTIMATED PERSONS PER 1000 FT ² FLOOR AREA	REQUIRED VENTILATION (CFM/PERSON)
COMMERCIAL		
Photo Studios Camera Rooms, Stages	10	5
Darkrooms	10	10
Shoe Repair Shops (Combined Workrooms/Trade Areas)	10	10
Garages, Auto Repair Shops, Service Stations Parking Garages (enclosed) ^a	—	1.5 ^a
Auto Repair Workrooms (general) ^a	—	1.5 ^a
Service Station Offices	20	7
Theaters Ticket Booths	—	5
Lobbies, (Foyers & Lounges)	150	20
Auditoriums (No Smoking)	150	5
Auditoriums (Smoking Permitted)	150	10
Stages (with Proscenium & Curtains)	70	10
Workrooms	20	10
Ballrooms (Public)	100	15
Bowling Alleys (Seating Area)	70	15
Gymnasiums & Arenas Playing Floors—Minimal or No Seating	70	20
Locker Rooms ^d	20	30 ^d
Spectator Areas	150	20
Ramps, Foyers, and Lobbies	150	10
Amusement Parlors and Pool Rooms	25	20
Tennis, Squash, Handball Courts	—	20

TABLE 31 — VENTILATION REQUIREMENTS FOR OCCUPANTS

DESCRIPTION	ESTIMATED PERSONS PER 1000 FT ² FLOOR AREA	REQUIRED VENTILATION (CFM/PERSON)
COMMERCIAL		
Communication TV/Radio Broadcasting Booths, or Studios	20	30
Motion Picture and TV Stages	20	30
Pressrooms	100	15
Composing Rooms	30	7
Engraving Shops	30	7
Telephone Switchboard Rooms (Manual)	50	7
Telephone Switchgear Rooms (Automatic)	---	7
Teletypewriter/Facsimile Rooms	---	5
INSTITUTIONAL		
Schools		
Classrooms	50	10
Multiple Use Rooms	70	10
Laboratories	30	10
Craft and Vocational Training Shops ^f	30	10 ^f
Music, Rehearsal Rooms	70	10
Auditoriums	150	5
Gymnasiums	70	20
Libraries	20	7
Common Rooms, Lounges	70	10
Offices	100	7
Lavatories	100	15
Locker Rooms ^d	20	30 ^d
Lunchrooms, Dining Halls	100	10
Corridors	50	15
Utility Rooms	3	5
Dormitory Bedrooms	20	7
Hospitals, Nursing and Convalescent Homes Foyers	50	20
INSTITUTIONAL		
Military and Naval Installations		
Barracks	20	7
Toilets/Washrooms	100	15
Shower Rooms	100	10
Drill Halls	70	15
Ready Rooms, MP Stations	40	7
Indoor Target Ranges	70	20
Museums		
Exhibit Halls	70	7
Workrooms	10	10
Warehouses	5	5
Correctional Facilities, Police & Fire Stations (See also Gymnasiums, Libraries, Industrial Areas)		
Cell Blocks	20	7
Eating Halls	70	15
Guard Stations	40	7
Veterinary Hospital Kennels, Stalls, Operating Rooms ^g	20	25 ^g
Reception Rooms	30	10
ORGANIZATIONAL		
Churches, Temples (see Theaters, Schools and Offices)		
Legislative Halls Legislative Chambers	70	20
Committee Rooms and Conference Rooms	70	20

TABLE 32 — INFILTRATION THROUGH CLOSED WINDOWS AND DOORS ①
(CFM Per Ft. Of Crack)

Ranara

		SUMMER (7.5 MPH)	WINTER (15 MPH)	CERTIFIED RATING @ 25 MPH
FIXED WINDOW <i>Vestibule Entry</i> (AROUND FRAME)	CALKED	.03	.05	.08
	NOT CALKED	.09	.23	.45
DOUBLE-HUNG WOOD <i>Double Hung</i> SASH WINDOW	WEATHERSTRIPPED	.14	.40	.82
	NON-WEATHERSTRIPPED	.22	.65	1.33
DOUBLE-HUNG METAL WINDOW	WEATHERSTRIPPED	.20	.53	1.00
	NON-WEATHERSTRIPPED	.54	1.23	2.28

① This table has a selection of windows rated at 25 mph. In the case when the description isn't applicable, refer to the last column (25 mph) and locate the air infiltration rate which best matches the window under consideration.

TABLE 33 — INFILTRATION THROUGH DOORS DUE TO OPENINGS
(CFM Per Door Opening)

TYPE	SUMMER	WINTER
SWING DOOR TO LARGE INTERIOR ROOM (3' x 7') <i>Entrance</i>	* 7.5	15.0
SWING DOOR TO VESTIBULE (3' x 7') <i>Vestibule</i>	4.5	9.0
REVOLVING DOOR (72") <i>Entrance</i>	1.0	1.0

TABLE 32 — INFILTRATION THROUGH CLOSED WINDOWS AND DOORS ①
(CFM Per Ft. Of Crack)

Ranara

		SUMMER (7.5 MPH)	WINTER (15 MPH)	CERTIFIED RATING @ 25 MPH
FIXED WINDOW <i>Vestibule Entry</i> (AROUND FRAME)	CALKED	.03	.05	.08
	NOT CALKED	.09	.23	.45
DOUBLE-HUNG WOOD <i>Double Hung</i> SASH WINDOW	WEATHERSTRIPPED	.14	.40	.82
	NON-WEATHERSTRIPPED	.22	.65	1.33
DOUBLE-HUNG METAL WINDOW	WEATHERSTRIPPED	.20	.53	1.00
	NON-WEATHERSTRIPPED	.54	1.23	2.28

① This table has a selection of windows rated at 25 mph. In the case when the description isn't applicable, refer to the last column (25 mph) and locate the air infiltration rate which best matches the window under consideration.

TABLE 33 — INFILTRATION THROUGH DOORS DUE TO OPENINGS
(CFM Per Door Opening)

TYPE	SUMMER	WINTER
SWING DOOR TO LARGE INTERIOR ROOM (3' x 7') <i>Normal</i>	* 7.5	15.0
SWING DOOR TO VESTIBULE (3' x 7') <i>Vestibule</i>	4.5	9.0
REVOLVING DOOR (72") <i>erratic</i>	1.0	1.0

Table 3-1
Design Temperature Differences

ITEM NO.	ITEM	TEMPERATURE DIFFERENCE* F
1	WALLS, EXTERIOR	17
2	GLASS IN EXTERIOR WALLS	17
3	GLASS IN PARTITIONS	10
4	STORE SHOW WINDOWS HAVING A LARGE LIGHTING LOAD	30
5	PARTITIONS	10
6	PARTITIONS, OR GLASS IN PARTITIONS, ADJACENT TO LAUNDRIES, KITCHENS, OR BOILER ROOMS	25
7	FLOORS ABOVE UNCONDITIONED ROOMS	10
8	FLOORS ON GROUND	0
9	FLOORS ABOVE BASEMENTS (BASAS)	0
10	FLOORS ABOVE ROOMS OR BASEMENTS USED AS LAUNDRIES, KITCHENS, OR BOILER ROOMS	35
11	FLOORS ABOVE VENTED SPACES	17
12	FLOORS ABOVE UNVENTED SPACES	0
13	CEILINGS WITH UNCONDITIONED ROOMS ABOVE	10
14	CEILINGS WITH ROOMS ABOVE USED AS LAUNDRIES, KITCHENS, ETC.	20
15	CEILING WITH ROOF DIRECTLY ABOVE (NO ATTIC) (LOSA)	17
16	CEILING WITH TOTALLY ENCLOSED ATTIC ABOVE	17
17	CEILING WITH CROSS-VENTILATED ATTIC ABOVE	17

Table 3-2
Over-all Heat Transfer Coefficients
for Glass and Glass Blocks

DESCRIPTION	OUTDOOR EXPOSURE
SINGLE-GLASS WINDOWS	1.06
DOUBLE-GLASS WINDOWS	0.64
TRIPLE-GLASS WINDOWS	0.34
GLASS BLOCK	0.56
GLASS BLOCK	0.48

Table 3-14
Heat Gain from Occupants of Conditioned Spaces¹

DEGREE OF ACTIVITY	TYPICAL APPLICATION	TOTAL HEAT ADULTS, MALE BTU/HR	TOTAL HEAT ADJUSTED ² BTU/HR	SENSIBLE HEAT BTU/HR	LATENT HEAT BTU/HR
SEATED AT REST	THEATER-MATINEE	300	330	200	130
	THEATER-EVENING	390	350	215	135
SEATED, VERY LIGHT WORK	OFFICES, HOTELS, APARTMENTS	450	400	215	185
MODERATELY ACTIVE OFFICE WORK	OFFICES, HOTELS, APARTMENTS	475	450	220	230
STANDING, LIGHT WORK; OR WALKING SLOWLY	RETAIL AND DEPARTMENT STORES	550	450	220	230
WALKING; SEATED	DRUG STORE	550	500	220	280
STANDING; WALKING SLOWLY	BANK	550	550	240	310
SEATED WORK	RESTAURANT ³	490	750	240	510
LIGHT BENCH WORK	FACTORY	800	750	270	580
MODERATE DANCING	DANCE HALL	900	850	330	670
WALKING 3 MPH	FACTORY	1000	1000	510	940
MODERATELY HEAVY WORK	BOWLING ALLEY	1500	1450	510	940
BOWLING ⁴	FACTORY	1500	1450	510	940
HEAVY WORK					

Reprinted by permission from 1965 ASHRAE GUIDE and Data Book.

Coefficiente de en ductos
Table 3-15
Over-all Heat Transfer Coefficient for Ductwork

DESCRIPTION OF DUCTWORK	U
SHEET METAL, NOT INSULATED <i>en ductos</i>	1.18
1/2 IN. THICK INSULATION BOARD WITH OR WITHOUT SHEET METAL	0.38
1 IN. DITTO	0.22
1 1/2 IN. DITTO	0.15
2 IN. DITTO	0.12

Table 3-16

Heat Gain From Electric Motors

NAMEPLATE RATING, HP	APPROXIMATE EFFICIENCY	HEAT GAIN, BTUH PER HP FOR CONTINUOUS RUNNING #
UP TO 1/4*	60	4200
1/2 TO 1	70	3600
1 1/2 TO 5	80	3200
7 1/2 TO 20	85	3000
OVER 20	88	2900

* Including 1/4 hp
 # Two things are assumed when the last column is used:
 (1) the motor and its load are in either the room or the air stream,
 (2) the load is equal (or almost equal) to the nameplate rating.
 In general, these assumptions are true — especially for motors of 20 hp or less.

Infiltration Through Windows (cfh per ft)*

TYPE OF WINDOW	DESCRIPTION OF WINDOW	WIND VELOCITY, MPH	
		<i>Verand</i> 7 1/2	15
DOUBLE-HUNG WOOD SASH (UNLOCKED)	TOTAL FOR AVERAGE WINDOW, NONWEATHERSTRIPPED, 1/16 IN. CRACK AND 3/64 IN. CLEARANCE	14	39
	DITTO, WEATHERSTRIPPED	6	24
	TOTAL FOR POORLY FITTED WINDOW, NONWEATHERSTRIPPED, 3/32 IN. CRACK AND 3/32 IN. CLEARANCE	48	111
	DITTO, WEATHERSTRIPPED	13	34
DOUBLE-HUNG METAL SASH	NONWEATHERSTRIPPED, LOCKED	33	70
	NONWEATHERSTRIPPED, UNLOCKED	34	74
	WEATHERSTRIPPED, UNLOCKED	13	32
ROLLED SECTION STEEL SASH	INDUSTRIAL PIVOTED, 1/16 IN. CRACK	60	176
	ARCHITECTURAL PROJECTED, 3/64 IN. CRACK	36	88
	RESIDENTIAL CASEMENT, 1/32 IN. CRACK	23	52
	HEAVY CASEMENT SECTION, PROJECTED 1/32 IN. CRACK	16	38

Table 3-22
Outdoor Air Requirements¹

APPLICATION	SMOKING	<i>psf/a</i> CFM PER PERSON ²		CFM PER SQ ² FT OF FLOOR
		REC- COM- MEND- ED	MINI- MUM ³	MINI- MUM ³
APARTMENT				
AVERAGE.....	SOME.....	20	10	.....
DELUXE.....	SOME.....	20	10	.....
BANKING SPACE.....	OCCASIONAL...	10	7½	.....
BARBER SHOPS.....	CONSIDERABLE	15	10	.....
BEAUTY PARLORS.....	OCCASIONAL...	10	7½	.....
BROKERS' BOARD ROOMS	VERY HEAVY ...	50	20	.....
COCKTAIL BARS.....	.....	40	25	.....
CORRIDORS (SUPPLY OR EXHAUST).....	.....	.....	.....	0.25
DEPARTMENT STORES.....	NONE.....	7½	5	0.05
DIRECTORS' ROOMS.....	EXTREME.....	50	30	.....
DRUG STORES ²	CONSIDERABLE	10	7½	.....
FACTORIES ^{3a}	NONE.....	10	7½	0.10
FIVE AND TEN CENT STORES.....	NONE.....	7½	5	.....
FUNERAL PARLORS.....	NONE.....	10	7½	.....
GARAGES ⁴.....	.....	.....	.....	1.0
HOSPITALS				
OPERATING ROOMS ^{1a}	NONE.....	.....	.....	2.0
PRIVATE ROOMS.....	NONE.....	30	25	0.33
WARDS.....	NONE.....	20	10	.....
HOTEL ROOMS.....	HEAVY.....	30	25	0.33
KITCHENS				
RESTAURANT.....	.....	.....	.....	4.2
RESIDENCE.....	.....	.....	.....	2.0
LABORATORIES ⁵	SOME.....	20	15	.....
MEETING ROOMS.....	VERY HEAVY ...	50	30	1.25
OFFICES				
GENERAL.....	SOME.....	15	10	.....
PRIVATE.....	NONE.....	25	15	0.25
PRIVATE.....	CONSIDERABLE	30	25	0.25
RESTAURANTS				
CAFETERIA ⁵	CONSIDERABLE	12	10	.....
DINING ROOM ⁵	CONSIDERABLE	15	12	.....
SCHOOLROOMS ⁴	NONE.....	.....	.....	.....
SHOP, RETAIL.....	NONE.....	10	7½	.....
THEATER ⁴	NONE.....	7½	5	.....
THEATER.....	SOME.....	15	10	.....
TOILETS ⁴ (EXHAUST).....	.....	.....	.....	2.0

Apéndice M. Capítulo 6. Acondicionamiento de Aire, Principios y Sistemas. Pita.

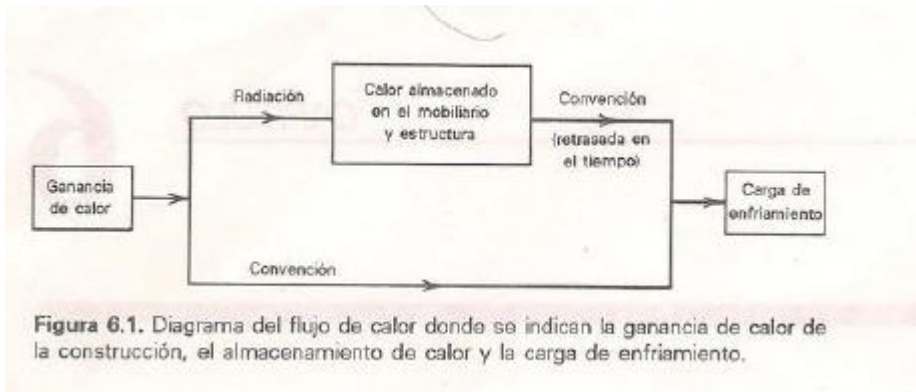


Figura 6.1. Diagrama del flujo de calor donde se indican la ganancia de calor de la construcción, el almacenamiento de calor y la carga de enfriamiento.



Acondicionamiento de Aire, Principios y

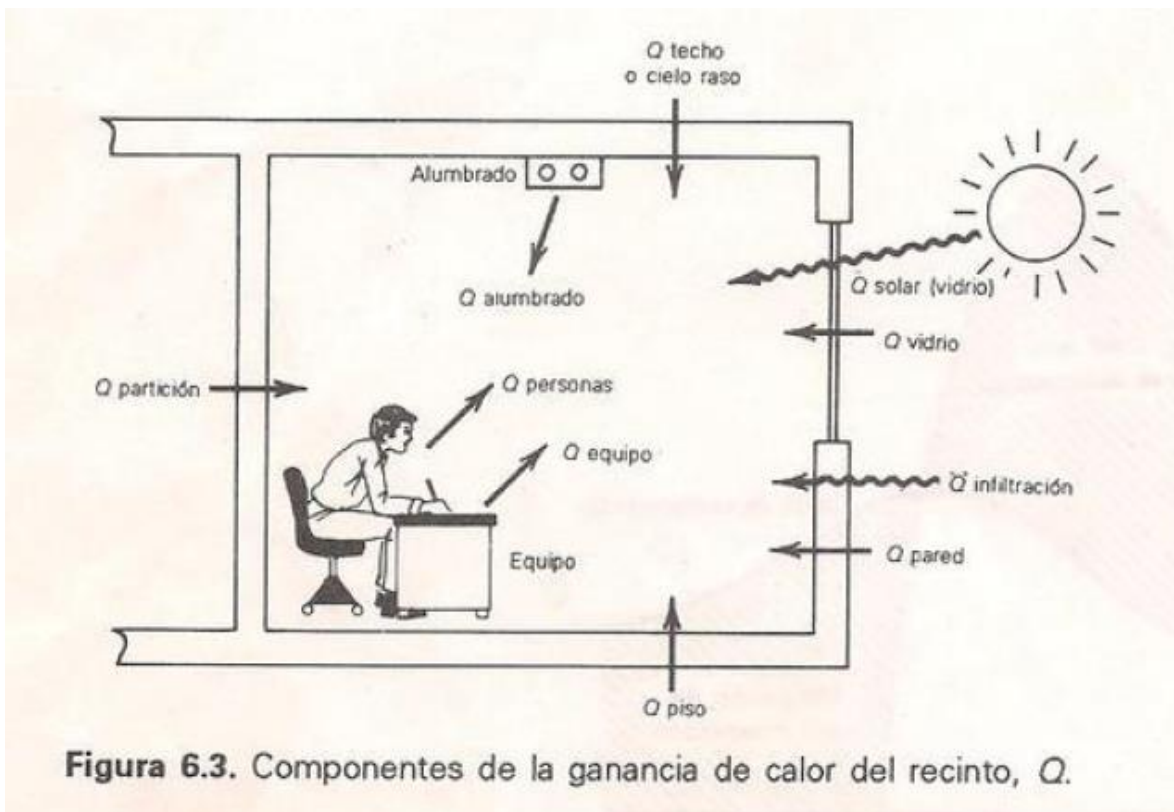


Figura 6.3. Componentes de la ganancia de calor del recinto, Q .

Apéndice O. Cálculo de diámetro de tuberías de refrigeración.

9. Tamaño de la tubería de refrigerante y longitud de tubo admisible

9.1. Información general

AVSO
El refrigerante R410A exige precauciones especiales que mantengan el sistema limpio, seco y herméticamente cerrado.

- Limpio y seco: deberá evitarse la contaminación del sistema con materiales extraños (incluidos aceites minerales o humedad).
- Hermético: El refrigerante R410A, no contiene cloro, no destruye la capa de ozono y reduce la protección de la tierra frente a la radiación ultravioleta dañina. El refrigerante R410A puede contribuir ligeramente al efecto invernadero si se suelta. Por lo tanto, hay que prestar especial atención para comprobar el hermetismo de la instalación.

9.2. Selección del material de las tuberías

AVSO
Las tuberías y otros componentes a presión deben cumplir con la normativa aplicable y deben ser aptos para refrigerante. Use cobre sin uniones desoxidado con ácido fosfórico para el refrigerante.

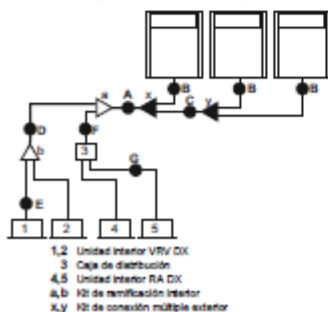
AVSO
La instalación debe correr a cargo de un instalador cualificado y los materiales elegidos y la instalación deben ajustarse a los códigos nacionales e internacionales aplicables.
En Europa, la norma de referencia es la EN 578.

- Los materiales extraños (como los aceites utilizados en la fabricación) deben tener unas concentraciones de $\leq 30 \text{ mg/10 m}$.
- Grado de temple: elija el grado de temple de las tuberías a partir de la siguiente tabla.

\varnothing del tubo (mm)	Grado de temple del material de la tubería
$\geq 15,9$	O (resaca)
$\geq 19,1$	1/2H (semitemple)

9.3. Selección del tamaño de la tubería

Determine el tamaño adecuado a partir de las siguientes tablas y figuras de referencia (solo a modo de referencia).



9.3.1. Tuberías entre la unidad exterior y la tubería del (primer) kit de ramificación: A, B, C

Elija una opción de la siguiente tabla en función de la capacidad total de la unidad exterior, conectada aguas abajo.

Tipo de capacidad de la unidad exterior (CV)	Diámetro exterior de la tubería (mm)	
	Tubería de gas	Tubería de líquido
6	19,1	9,5
10	22,2	
12-16		12,7
19-22	26,6	
24		15,9
26-34	34,9	
36-54	41,3	19,1

9.3.2. Tuberías entre kits de ramificación de refrigerante: D

Elija una opción de la siguiente tabla en función de la capacidad total de la unidad interior, conectada aguas abajo. No deje que la tubería de conexión exceda el tamaño de la tubería de refrigerante seleccionado en el nombre del modelo del sistema general.

Índice de capacidad de unidad interior	Diámetro exterior de la tubería (mm)	
	Tubería de gas	Tubería de líquido
100	15,9	
150a+200	19,1	9,5
200a+290	22,2	
290a+420		12,7
420a+640	26,6	
640a+920	34,9	15,9
+920	41,3	19,1

Ejemplo:

Capacidad aguas abajo para E=índice de capacidad de la unidad 1
Capacidad aguas abajo para D=índice de capacidad de la unidad 1+índice de capacidad de la unidad 2

9.3.3. Tuberías entre kit de ramificación de refrigerante y unidad de distribución: F

El tamaño del tubo para la conexión directa en la unidad de distribución debe basarse en la capacidad total de las unidades interiores conectadas (solo en caso de que se conecten unidades interiores RA DX).

Índice de capacidad total de las unidades interiores conectadas	Tubería de gas (mm)	Tubería de líquido (mm)
20-62	12,7	6,4
65-149	15,9	9,5
150-208	19,1	

Ejemplo:

Capacidad aguas abajo para F=índice de capacidad de la unidad 4+índice de capacidad de la unidad 5

9.3.4. Tuberías entre la unidad de distribución y la unidad interior RA DX: G

Solo en caso de que se conecten unidades interiores RA DX.

Índice de capacidad de la unidad interior	Tubería de gas (mm)	Tubería de líquido (mm)
20, 25, 30	9,5	6,4
50		
60	12,7	
71	15,9	9,5

