

EVALUACION TECNICA DEL PROCESO DE CLIMATIZACIÓN DE SALAS
LIMPIAS EN COLOMBIA, PARA ACAIRE

ALEJANDRO FRANCO CEDEÑO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C
2019

EVALUACION TECNICA DEL PROCESO DE CLIMATIZACIÓN DE SALAS
LIMPIAS EN COLOMBIA, PARA ACAIRE

ALEJANDRO FRANCO CEDEÑO

Proyecto integral de grado para optar por el título de:
INGENIERO MECÁNICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2019

Nota de aceptación:

Ing. Bolívar Andrés Monroy Matallana

Ing. Eric Fabien Navarro Arquez

Bogotá D.C, Mayo de 2019

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector d Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Decano Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director Ingeniería Mecánica

Ing. Carlos Mauricio Veloza Villamil

Las directivas de la Universidad América los jurados calificadores y el cuerpo de docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

Dedicado a Santiago Aristizábal Cedeño.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a Dios por poner en mi camino tantas bendiciones, a través de oportunidades, momentos, familiares y amigos. A la Fundación Universidad de América que, desde el primer día de esta maravillosa experiencia académica, fui recibido con una invitación muy especial, pues nos incitaron a “ser parte de la solución”, frase con la que me llené de un inmenso sentido de pertenencia por el camino que, para entonces acababa de comenzar. Ser parte de la solución implica hacerse responsable de principios y valores que están alineados con la formación recibida.

A Liliana Cedeño Jaramillo, mi madre, quien me ha inculcado el valor de la responsabilidad, el sentido de pertenencia y el. Compromiso; A Alberto Franco Restrepo, mi padre, me ha demostrado que es capaz de enfrentar cualquier cosa para ejecutar su trabajo con honestidad, por último, A Daniel Franco Cedeño, mi hermano, quien me ha enseñado que la disciplina afirma sus compromisos. Al Ingeniero Carlos Mendoza, por su acompañamiento en la realización del proyecto; al Ingeniero. Diego Castro, miembro ACAIRE, por su incondicional apoyo, tiempo y atención prestados; al Ingeniero Cristian Salazar por su acogimiento para desarrollar este proyecto y a mis mejores amigos quienes, por su incondicional apoyo, aportaron a la realización del proyecto.

Alejandro Franco Cedeño

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	24
INTRODUCCIÓN	25
1. GENERALIDADES DE LA CLIMATIZACIÓN EN SALAS LIMPIAS	27
1.1 CLIMATIZACIÓN	28
1.1.1 Confort	28
1.1.1.1 Temperatura (T)	29
1.1.1.2 Humedad relativa (HR)	29
1.1.1.3 Densidad del aire (ρ)	29
1.1.2 Bioaerosoles	30
1.1.3 Ventilación	31
1.1.3.1 Impulsión	32
1.1.3.2 Extracción	32
1.1.3.3 Filtración	32
1.2 CALIDAD DEL AIRE	32
1.2.1 Riesgo ambiental	33
1.2.2 Calidad del aire interior (CAI)	33
1.3 SALAS LIMPIAS	33
1.3.1 Instituciones prestadoras de servicios de salud (IPS)	33
1.3.1.1 Clasificación de las instituciones de salud	34
1.3.2 Infección nosocomial	35
1.3.3 Áreas de restricción en las salas limpias	35
1.3.3.1 Zona negra	36
1.3.3.2 Zona gris	36
1.3.3.3 Zona blanca	37
1.3.4 Clasificación de las salas limpias	38
1.3.4.1 Clases de locales	38
1.3.4.2 Clasificación ISO por concentración de partículas	38
1.3.4.3 Clasificación de quirófanos	39
1.3.4.4 Clasificación equivalente entre normativas	40
1.4 MANEJO DEL AIRE	41
1.4.1 Carga térmica	41
1.4.1.1 Carga térmica debida al aire interior (Qa)	41
1.4.1.2 Carga térmica por equipos misceláneos (Qe)	43
1.4.1.3 Carga térmica debida a infiltraciones (Qi)	44
1.4.1.4 Carga térmica por transmisiones de paredes (Qk)	46
1.4.1.5 Carga térmica por ocupantes (Qo)	47
1.4.1.6 Carga térmica debida a fuentes lumínicas (Qf)	48
1.4.2 Refrigeración por compresión de vapor	49

1.4.2.1	Balance energético del compresor	50
1.4.2.2	Balance energético del condensador	51
1.4.2.3	Proceso de expansión	52
1.4.2.4	Balance energético del evaporador	52
1.4.2.5	Características específicas de un sistema de refrigeración	53
1.4.2.6	Flujo másico (m) del refrigerante	53
1.4.2.7	Potencia eléctrica consumida	54
1.4.2.8	Sobrecalentamiento	54
1.4.2.9	Subenfriamiento	54
1.4.3	Eficiencia energética	54
1.4.3.1	Coeficiente de rendimiento (COP)	55
1.4.3.2	Factor de eficiencia energética (EER)	55
1.4.4	Eficiencia energética estacional	55
1.4.4.1	Coeficiente de rendimiento estacional ($SCOP$)	56
1.4.4.2	Factor de eficiencia energética estacional ($SEER$) ⁸	57
1.4.5	Maquinas frigoríficas	57
1.4.5.1	Unidad condensadora	58
1.4.5.2	Unidad manejadora	59
1.4.6	Filtros	60
1.4.6.1	Minimum Efficiency Reporting Value Filter (MERV)	60
1.4.6.2	High Efficiency Particulate Air Filter (HEPA)	60
1.5	MANEJO DE PROCESOS	61
1.5.1	Cadena de frio de las vacunas	61
1.5.2	La cadena de frio en el trasplante de órganos	62
1.5.3	Cadena de frio en la ciencia forense	62
1.5.4	Conservación de cadáveres	62
1.5.5	Evidencias forenses	62
1.6	NORMATIVA	63
1.6.1	Dirección seccional de salud	63
1.6.2	Resolución 4445 de 1996 del Ministerio de Salud	63
1.6.3	Resolución 2003 de 2014 del Ministerio de salud	63
1.6.4	UNE 100713 de 2005	64
1.6.5	ISO 14644:2016	64
1.6.6	UNE 171340:2011	64
1.6.6.1	UNE-EN 12464-1	64
1.6.6.2	ASHRAE	65
2.	PROCESO DE EVALUACION	66
2.1	INSTRUMENTOS DE MEDICION	66
2.1.1	Penta III	66
2.1.2	Datalogger RHT10	67
2.2	SOFTWARE UTILIZADO	68
2.2.1	SICRO v.2.1.2	68
2.2.2	Coolpack V.1.50	69

2.3 SELECCIÓN DE EQUIPOS DE CLIMATIZACIÓN	70
2.3.1 Método de Scoring	70
2.4 METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN	73
2.5 METODOLOGÍA DE CALCULO	75
3. QUIROFANO	76
3.1 EVALUACIÓN TÉCNICA DEL AMBIENTE INTERIOR	76
3.1.1 Estado actual de las salas de cirugía	76
3.1.2 Parámetros de construcción	78
3.1.2.1 Evaluación de parámetros de diseño	78
3.1.2.2 Evaluación de parámetros de instalación	79
3.1.3 Parámetros de confort del ambiente interior	81
3.1.3.1 Evaluación de la Temperatura (T) interior	82
3.1.3.2 Evaluación de la Humedad Relativa (HR) interior	83
3.1.4 Análisis parcial de resultados	84
3.2 EVALUACIÓN TÉCNICA DE DESEMPEÑO DE EQUIPOS	85
3.2.1 Evaluación técnica del proceso real de climatización	85
3.2.1.1 Cálculo de la carga térmica real por aire tratado (QRa)	85
3.2.1.2 Cálculo de la carga térmica real por equipos misceláneos (QRe)	86
3.2.1.3 Cálculo de la carga térmica real debida a infiltraciones (QRi)	87
3.2.1.4 Cálculo de carga térmica real por transmisiones de paredes (QRk)	88
3.2.1.5 Cálculo de carga térmica real por ocupantes (QRo)	88
3.2.1.6 Cálculo de la carga térmica real debida a fuentes lumínicas (QRf)	89
3.2.1.7 Cálculo de carga térmica real total (QRT)	89
3.2.1.8 Evaluación de desempeño real de equipos	90
3.2.2 Evaluación técnica proceso ideal de climatización	92
3.2.2.1 Cálculo de la carga térmica ideal por aire tratado (QIa)	93
3.2.2.2 Cálculo de la carga térmica ideal por equipos misceláneos (QIe)	94
3.2.2.3 Cálculo de la carga térmica ideal debida a infiltraciones (QIi)	94
3.2.2.4 Cálculo de carga térmica ideal por transmisiones de paredes (QIk)	94
3.2.2.5 Cálculo de la carga térmica ideal por ocupantes (QIo)	95
3.2.2.6 Cálculo de la carga térmica ideal debida a fuentes lumínicas (QIf)	95
3.2.2.7 Cálculo de la carga térmica ideal total (QIT)	96
3.2.2.8 Evaluación de desempeño ideal de equipos	96
3.2.3 Análisis parcial de resultados	98
3.3 EVALUACIÓN TÉCNICA DE INFRAESTRUCTURA DE EQUIPOS	99
3.3.1 Estado actual de los equipos	99
3.3.1.1 Evaluación de parámetros de infraestructura de equipos	103
3.4 ANALISIS DE RESULTADOS PARA SALAS DE CIRUGIA	104
4. UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS	105
4.1 EVALUACIÓN TÉCNICA DEL AMBIENTE INTERIOR	105
4.1.1 Estado actual de la UCI	105
4.1.1.1 Evaluación de parámetros de diseño de la UCI	111

4.1.1.2 Evaluación parámetros instalación de la UCI	111
4.1.2 Parámetros de confort del ambiente interior	113
4.1.2.1 Evaluación de la Temperatura (T) interior	113
4.1.2.2 Evaluación de la Humedad Relativa (HR) interior	114
4.1.3 Análisis parcial de resultados	115
4.2 EVALUACIÓN TÉCNICA DE DESEMPEÑO DE EQUIPOS	116
4.2.1 Evaluación técnica del proceso real de climatización	116
4.2.1.1 Cálculo de la carga térmica real por aire tratado (QRa)	116
4.2.1.2 Cálculo de la carga térmica real por equipos misceláneos (QRe)	117
4.2.1.3 Cálculo de la carga térmica real debida a infiltraciones (QRi)	118
4.2.1.4 Cálculo de carga térmica real por transmisiones de paredes (QRk)	119
4.2.1.5 Cálculo de carga térmica real por ocupantes (QRo)	119
4.2.1.6 Cálculo de la carga térmica real debida a fuentes lumínicas (QRf)	120
4.2.1.7 Cálculo de carga térmica real total (QRT)	120
4.2.1.8 Desempeño real de equipos	120
4.2.2 Evaluación técnica del proceso ideal de climatización	122
4.2.2.1 Cálculo de la carga térmica ideal por aire tratado (QIa)	123
4.2.2.2 Cálculo de la carga térmica ideal por equipos misceláneos (QIe)	124
4.2.2.3 Cálculo de la carga térmica ideal debida a infiltraciones (QIi)	124
4.2.2.4 Cálculo de carga térmica ideal por transmisiones de paredes (QIk)	124
4.2.2.5 Cálculo de la carga térmica ideal por ocupantes (QIo)	125
4.2.2.6 Cálculo de la carga térmica ideal debida a fuentes lumínicas (QIf)	125
4.2.2.8 Cálculo de carga térmica ideal total (QIT)	125
4.2.2.9 Desempeño ideal de equipos	126
4.2.3 Análisis parcial de resultados	127
4.3 EVALUACIÓN TÉCNICA DE INFRAESTRUCTURA DE EQUIPOS	129
4.3.1 Estado actual de los equipos	129
4.3.2 Evaluación de parámetros de infraestructura de equipos	134
4.4 ANALISIS DE RESULTADOS UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS	134
5. NEONATOLOGIA	135
5.1 EVALUACIÓN TÉCNICA DEL AMBIENTE INTERIOR	135
5.1.1 Estado actual de la sala de neonatos	135
5.1.2 Parámetros de construcción	139
5.1.2.1 Evaluación de parámetros de diseño	139
5.1.2.2 Evaluación de parámetros de instalación de neonatología	139
5.1.3 Parámetros de confort del ambiente interior	142
5.1.3.1 Evaluación de la Temperatura (T) interior	143
5.1.3.2 Evaluación de la Humedad Relativa (HR) interior	144
5.1.4 Análisis parcial de resultados	145
5.2 EVALUACIÓN TÉCNICA DE DESEMPEÑO DE EQUIPOS	146
5.2.1 Evaluación técnica del proceso real de climatización	146
5.2.1.1 Cálculo de la carga térmica real por aire tratado (QRa)	146
5.2.1.2 Cálculo de la carga térmica real por equipos misceláneos (QRe)	147

5.2.1.3 Cálculo de la carga térmica real debida a infiltraciones (QR_i)	148
5.2.1.4 Cálculo de carga térmica real por transmisiones de paredes (QR_k)	149
5.2.1.5 Cálculo de carga térmica real por ocupantes (QR_o)	149
5.2.1.6 Cálculo de la carga térmica real debida a fuentes lumínicas (QR_f)	149
5.2.1.7 Cálculo de carga térmica real total (QRT)	150
5.2.1.8 Desempeño real de equipos	150
5.2.2 Evaluación técnica proceso ideal de climatización	152
5.2.2.1 Cálculo de la carga térmica ideal por aire tratado (QI_a)	152
5.2.2.2 Cálculo de la carga térmica ideal por equipos misceláneos (QI_e)	154
5.2.2.3 Cálculo de la carga térmica ideal debida a infiltraciones (QI_i)	154
5.2.2.4 Cálculo de carga térmica ideal por transmisiones de paredes (QI_k)	154
5.2.2.5 Cálculo de la carga térmica ideal por ocupantes (QI_o)	155
5.2.2.6 Cálculo de la carga térmica ideal debida a fuentes lumínicas (QI_f)	155
5.2.2.7 Cálculo de carga térmica ideal total (QIT)	155
5.2.2.8 Desempeño ideal de equipos	156
5.2.3 Análisis parcial de resultados	157
5.3 EVALUACIÓN TÉCNICA DE INFRAESTRUCTURA DE EQUIPOS	158
5.3.1 Estado actual de los equipos	158
5.3.2 Evaluación de parámetros de infraestructura de equipos	162
5.4 ANALISIS DE RESULTADOS DE NEONATOLOGIA	163
6. IMAGENOLOGIA	164
6.1 EVALUACIÓN TÉCNICA DEL AMBIENTE INTERIOR	164
6.1.1 Estado actual de las salas de imágenes diagnosticas	164
6.1.2 Parámetros de construcción	169
6.1.2.1 Evaluación de parámetros de diseño de imagenología	169
6.1.2.2 Evaluación de parámetros de instalación de imagenología	170
6.1.3 Parámetros de confort del ambiente interior	170
6.1.3.1 Evaluación de la Temperatura (T) interior	171
6.1.3.2 Evaluación de la Humedad Relativa (HR) interior	172
6.1.4 Análisis parcial de resultados	173
6.2 EVALUACIÓN TÉCNICA DE DESEMPEÑO DE EQUIPOS	174
6.2.1 Evaluación técnica del proceso real de climatización	174
Cálculo de la carga térmica real por aire tratado (QR_a)	174
6.2.1.1 Cálculo de la carga térmica real por equipos misceláneos (QR_e)	175
6.2.1.2 Cálculo de la carga térmica real debida a infiltraciones (QR_i)	176
6.2.1.3 Cálculo de carga térmica real por transmisiones de paredes (QR_k)	176
6.2.1.4 Cálculo de carga térmica real por ocupantes (QR_o)	177
6.2.1.5 Cálculo de la carga térmica real debida a fuentes lumínicas (QR_f)	177
6.2.1.6 Cálculo de carga térmica real total (QRT)	178
6.2.1.7 Desempeño real de equipos	178
6.2.2 Evaluación técnica proceso ideal de climatización	180
6.2.2.1 Cálculo de la carga térmica ideal por aire tratado (QI_a)	180
6.2.2.2 Cálculo de la carga térmica ideal por equipos misceláneos (QI_e)	181

6.2.2.3 Cálculo de la carga térmica ideal debida a infiltraciones (Q_{Ii})	182
6.2.2.4 Cálculo de carga térmica ideal por transmisiones de paredes (Q_{Ik})	182
6.2.2.5 Cálculo de la carga térmica ideal por ocupantes (Q_{Io})	182
6.2.2.6 Cálculo de la carga térmica ideal debida a fuentes lumínicas (Q_{If})	183
6.2.2.7 Cálculo de carga térmica ideal total (Q_{IT})	183
6.2.2.8 Desempeño ideal de equipos	183
6.2.3 Análisis parcial de resultados	185
6.3 EVALUACIÓN TÉCNICA DE INFRAESTRUCTURA DE EQUIPOS	186
6.3.1 Estado actual de los equipos	186
6.3.2 Evaluación de parámetros de infraestructura de equipos	190
6.4 ANALISIS DE RESULTADOS UNIDAD DE IMAGENOLOGIA	190
7. ANALISIS GENERAL DE RESULTADOS	192
8. COSTOS	193
8.1 FORMACIÓN ACAIRE	193
8.2 MATERIALES DE INSTALACION AMBIENTE INTERIOR	194
8.2.1 Piso conductivo	194
8.2.2 Techo aséptico	194
8.2.3 Paredes asépticas	195
8.2.4 Guardaescoba	196
8.3 EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN	196
8.4 COSTO TOTAL	197
9. CONCLUSIONES	198
10. RECOMENDACIONES	200
BIBLIOGRAFIA	202
ANEXOS	207

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Taxonomía de los pisos termicos en Colombia	27
Cuadro 2. Temporadas climaticas en Colombia	27
Cuadro 3. Constantes especificas del aire (Ra), (Rw)	30
Cuadro 4. Taxonomía de instituciones prestadoras de servicios de salud (IPS)	34
Cuadro 5. Clases de locales interiores	38
Cuadro 6. Clases de limpieza del aire ISO por concentración de partículas	38
Cuadro 7. Concentración de particulas por clasificación de quirófano	40
Cuadro 8. Clasificación de salas limpias	40
Cuadro 9. Composición del aire seco	42
Cuadro 10. Coeficiente global de tranferencia de calor (K)	47
Cuadro 11. Carga térmica equivalente por persona (qp)	48
Cuadro 12. Normativa vigente del proceso de climatización en salas limpias	65
Cuadro 13. Parametros de instrumento de medida, Penta III	66
Cuadro 14. Parametros de instrumento de medida, Datalogger RHT10	67
Cuadro 15. Caracteristicas del software SICRO	68
Cuadro 16. Caracteristicas del software Coolpack	69
Cuadro 17. Ponderación de criterios y alternativas de selección	70
Cuadro 18. Alternativas de medición (j)	71
Cuadro 19. Ponderación de criterios de selección equipos (Wi)	72
Cuadro 20. Criterios de calificación del nivel de cumplimiento	74
Cuadro 21. Parámetros de confort del ambiente dentro del quirófano	81
Cuadro 22. Denominación de equipos del quirófano instalados	90
Cuadro 23. Parámetros del desempeño ideal de equipos	96
Cuadro 24. Parámetros de confort del ambiente dentro de la UCI	113
Cuadro 25. Denominación de equipos de la UCI instalados	120
Cuadro 26. Parámetros del desempeño ideal de equipos	126
Cuadro 27. Parámetros de confort del dentro de neonatología	143
Cuadro 28. Denominación de equipos de neonatología instalados	151
Cuadro 29. Parámetros del desempeño ideal de equipos	156
Cuadro 30. Parámetros de operación Philips Ingenuity Core ¹²⁸	165
Cuadro 31. Parametros de operación RX Philips Optimus 50	167
Cuadro 32. Parámetros de confort del ambiente dentro de imagenología	171
Cuadro 33. Denominación de equipos de imagenología instalados	178
Cuadro 34. Parámetros del desempeño ideal de equipos	184

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Humedad Relativa (HR)	29
Ecuación 2. Densidad del aire (ρ)	30
Ecuación 3. Carga térmica total (QT)	41
Ecuación 4. Carga térmica por aire tratado (Qa)	43
Ecuación 5. Carga térmica por equipos misceláneos (Qe)	44
Ecuación 6. Carga térmica debida a infiltraciones (Qi)	44
Ecuación 7. Carga sensible y latente de refrigeración (q)	45
Ecuación 8. Factor de densidad (Fm)	45
Ecuación 9. Factor por tiempo de apertura de la entrada (Dt)	46
Ecuación 10. Carga térmica por transmisiones de paredes (Qk)	46
Ecuación 11. Coeficiente global de transferencia de calor (K)	47
Ecuación 12. Carga térmica por ocupantes (Qo)	47
Ecuación 13. Carga térmica debida a fuentes lumínicas (Qf)	48
Ecuación 14. Capacidad total de iluminación (W)	49
Ecuación 15. Calor de compresión ($wcom$)	50
Ecuación 16. Potencia térmica del compresor ($Wcom$)	51
Ecuación 17. Calor de condensación. ($qcon$)	51
Ecuación 18. Potencia térmica del condensador ($Qcon$)	51
Ecuación 19. Efecto refrigerante. (ER)	52
Ecuación 20. Potencia térmica del evaporador. ($Pevap$)	52
Ecuación 21. Flujo másico de refrigerante (m)	53
Ecuación 22. Consumo eléctrico de un sistema de refrigeración ($Pelec$)	54
Ecuación 23. Coeficiente de rendimiento (COP)	55
Ecuación 24. Factor de eficiencia energética (EER)	55
Ecuación 25. Coeficiente de rendimiento estacional ($SCOP$)	56
Ecuación 26. Factor de eficiencia energética estacional ($SEER$)	57
Ecuación 27. Cálculo del puntaje alternativa j (Sj)	70
Ecuación 28. Porcentaje de cumplimiento ($\% C$)	73

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Sistema de ventilación natural (conceptual)	31
Figura 2. Sistema de ventilación mecánica (conceptual)	32
Figura 3. Área de transferencia de equipos y personal	36
Figura 4. Características de una sala de operaciones	37
Figura 5. Carta psicrométrica conceptual	42
Figura 6. Flujo de aire infiltrado a través de puertas	44
Figura 7. Diagrama de Mollier conceptual	49
Figura 8. Diagrama de equipos del ciclo de refrigeración	50
Figura 9. Esquema conceptual del ciclo de compresión	53
Figura 10. Esquema conceptual de un sistema inverter	56
Figura 11. Diagrama de instalación típica de equipos	57
Figura 12. Elementos de una unidad condensadora	58
Figura 13. Elementos de una unidad manejadora	59
Figura 14. Termómetro digital, Penta III	66
Figura 15. Temperatura y Humedad Relativa Datalogger	67
Figura 16. Interfaz del software SICRO	68
Figura 17. Interfaz del software Coolpack refrigeration utilities	69
Figura 18. Estructura de formato de análisis de falla equipos	74
Figura 19. Matriz de cumplimiento infraestructura equipos	75
Figura 20. Estructura de ecuaciones del proyecto	75
Figura 21. Estructura de las tablas del proyecto	75
Figura 22. Distribución de los quirófanos en el hospital	76
Figura 23. Pasillo de lavado de manos y pasillo prequirúrgico	77
Figura 24. Estado actual de accesorios y equipos misceláneos	79
Figura 25. Lámparas cielíticas de las salas de cirugía	81
Figura 26. Estado actual del quirófano	82
Figura 27. Unidad condensadora del quirófano y acceso cubierta	99
Figura 28. Válvulas de servicio y serpentín condensador	100
Figura 29. Ductos de extracción del quirófano y compuertas	100
Figura 30. Unidad manejadora y paños en ventanas	101
Figura 31. Válvula de expansión y cuarto de equipos	101
Figura 32. Motor y polea conducida y transmisión ventilador	102
Figura 33. Sistema de filtros en la unidad manejadora de aire	103
Figura 34. Distribución de cubículos en la UCI	106
Figura 35. Lavado de manos y avisos de restricción en UCI	106
Figura 36. Central de monitoreo y vestuario del personal de UCI	106
Figura 37. Intercambio de instrumental y puertas de ingreso	107
Figura 38. Puertas interiores, pasillo y puertas de ingreso en UCI	107
Figura 39. Camillas y monitor de signos vitales en cubículos UCI	107
Figura 40. Rejilla extracción y unidad de control signos de vitales	108
Figura 41. Cuarto de enfermería (trabajo sucio, UCI)	108

Figura 42. Cuarto de enfermería (trabajo limpio, UCI)	109
Figura 43. Guardaescoba media caña y depósito de residuos	109
Figura 44. Puertas de acceso a cubículos e inyección de aire	110
Figura 45. Estado actual de la unidad condensadora (UCI)	129
Figura 46. Estado actual interior de condensadora (UCI)	130
Figura 47. Accesorios unidad condensadora (UCI)	130
Figura 48. Elementos del sistema de climatización (UCI)	131
Figura 49. Estado actual de la unidad manejadora (UCI)	131
Figura 50. Estado actual del interior de la unidad manejadora	132
Figura 51. Estado actual de elementos de la unidad manejadora	132
Figura 52. Estado actual del interior de la unidad manejadora	133
Figura 53. Distribución de cubículos en Neonatología	135
Figura 54. Lavado de manos y avisos de restricción	136
Figura 55. Rejillas de impulsión a cubículos de neonatología	136
Figura 56. Fototerapia aplicada en neonatología	137
Figura 57. Unidad de cuidado intensivo neonatal	137
Figura 58. Accesorios en el interior de cubículos de neonatología	138
Figura 59. Fototerapia en la unidad de neonatología	138
Figura 60. Compuertas en las incubadoras de neonatos	139
Figura 61. Estado actual de los equipos de neonatología	159
Figura 62. Unidad condensadora (interior) y valvulas de servicio	159
Figura 63. Unidad manejadora de neonatología	160
Figura 64. Ventilador de unidad manejadora de neonatología	160
Figura 65. Evaporador de la unidad manejadora	161
Figura 66. Estado actual de los filtros en UMA neonatos	161
Figura 67. Filtros HEPA y compuertas de inspección	161
Figura 68. Distribución de la planta física para imagenología	164
Figura 69. Sistema de iluminación y pasillo imagenología	165
Figura 70. Rejillas de impulsión y equipos de diagnóstico	165
Figura 71. Rejillas extracción de aire y equipo de diagnóstico	166
Figura 72. Cuarto de control de equipos de diagnóstico	166
Figura 73. Puertas de ingreso de personal y elementos de aseo	167
Figura 74. Sala de examen Rayos X	167
Figura 75. Aspectos locativos del servicio de imagenología	168
Figura 76. Elementos interiores de Rayos X 1	168
Figura 77. Phillips Diagnost 66 y central de control de examen	168
Figura 78. Unidad condensadora de imagenología	186
Figura 79. Unidad condensadora y accesorios de imagenología	186
Figura 80. Interior de unidad condensadora imagenología	187
Figura 81. Interior unidad condensadora y accesorios	187
Figura 82. Condiciones de ambiente en la unidad manejadora	188
Figura 83. Estado actual de la unidad manejadora de imágenes	188
Figura 84. Estado actual de ducto de impulsión a imagenología	189
Figura 85. Interior y accesorios de UMA imagenología	189

LISTA DE GRAFICAS

	pág.
Gráfica 1. Desarrollo de los objetivos en la evaluación técnica	73
Gráfica 2. Curva de temperatura (T) del quirófano	83
Gráfica 3. Curva de humedad relativa (HR) del quirófano	84
Gráfica 4. Curva de entalpia real del aire tratado del quirofano	86
Gráfica 5. Curva real del sistema de refrigeración del quirofano	91
Gráfica 6. Curva de entalpia ideal del aire tratado del quirófano	93
Gráfica 7. Curva ideal del sistema de refrigeración del quirófano	97
Gráfica 8. Curva de temperatura (T)de la UCI	113
Gráfica 9. Curva de humedad relativa (HR) de la UCI	114
Gráfica 10. Curva de entalpia real del aire tratado de la UCI	117
Gráfica 11. Curva real del sistema de refrigeración de la UCI	121
Gráfica 12. Curva de entalpia ideal del aire tratado de la UCI	123
Gráfica 13. Curva ideal del sistema de refrigeración de la UCI	127
Gráfica 14. Curva de temperatura (T) de neonatología	143
Gráfica 15. Curva de humedad relativa (HR) de neonatología	144
Gráfica 16. Curva de entalpia real del aire tratado de neonatos	147
Gráfica 17. Curva real del sistema de refrigeración en neonatos	151
Gráfica 18. Curva de entalpia ideal del aire tratado de neonatos	153
Gráfica 19. Curva ideal del sistema de refrigeración de neonatos	157
Gráfica 20. Curva de temperatura (T) de imagenología	171
Gráfica 21. Curva de humedad relativa (HR) de imagenología	172
Gráfica 22. Curva de entalpia real del aire tratado en imágenes	175
Gráfica 23. Curva real del sistema de refrigeración de imágenes	179
Gráfica 24. Curva de entalpia ideal del aire tratado imágenes	181
Gráfica 25. Curva ideal del sistema de refrigeración de imágenes	184

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Matriz de selección de equipos	72
Tabla 2. Dimensiones de las salas de cirugía	78
Tabla 3. Evaluación de parámetros de diseño zona quirúrgica, Res. 4445	78
Tabla 4. Evaluación de parámetros de instalación zona prequirúrgica, Res. 4445	79
Tabla 5. Evaluación de parámetros de instalación zona quirúrgica, Res. 4445	80
Tabla 6. Evaluación de la temperatura (T) en quirófanos	82
Tabla 7. Evaluación de humedad relativa (HR) en quirófanos	83
Tabla 8. Calificación del ambiente interior del quirófano	84
Tabla 9. Cálculo de la densidad del aire y variables ambientales	85
Tabla 10. Datos reales de entalpia	85
Tabla 11. Cálculo de carga térmica real por aire tratado (QRa)	86
Tabla 12. Cálculo de la carga térmica real por equipos misceláneos (QRe)	87
Tabla 13. Cálculo de la carga térmica real debida a infiltraciones (QRi)	87
Tabla 14. Cálculo de carga térmica real por transmisiones de paredes (QRk)	88
Tabla 15. Cálculo de carga térmica real debida a los ocupantes (QRo)	89
Tabla 16. Cálculo de la carga térmica real debida a fuentes lumínicas (QRf)	89
Tabla 17. Cálculo de carga térmica real total (QRT)	90
Tabla 18. Parámetros reales del sistema con refrigerante R22	91
Tabla 19. Cálculo de parámetros reales de desempeño equipos	92
Tabla 20. Cálculo de la densidad del aire y los parámetros ambientales	93
Tabla 21. Datos ideales de entalpia	93
Tabla 22. Cálculo de carga termica ideal por aire tratado (QIa)	94
Tabla 23. Cálculo de la carga térmica ideal por equipos misceláneos (QIe)	94
Tabla 24. Cálculo de carga térmica ideal por transmisiones de paredes (QIk)	95
Tabla 25. Cálculo de carga térmica ideal por ocupantes (QIo)	95
Tabla 26. Cálculo de la carga térmica ideal debida a fuentes lumínicas (QIf)	96
Tabla 27. Cálculo de la carga térmica ideal total (QIT)	96
Tabla 28. Parámetros ideales del sistema con refrigerante R22	97
Tabla 29. Cálculo de los parámetros de desempeño ideales de equipos	98
Tabla 30. Calificación del desempeño de equipos del quirófano	98
Tabla 31. Comparación entre el consumo eléctrico real y el ideal	99
Tabla 32. Formato de análisis de falla de equipos del quirófano	103
Tabla 33. Calificación de la infraestructura de equipos del quirófano	104
Tabla 34. Calificación del cumplimiento del quirófano	104
Tabla 35. Dimensiones de los cubículos de la UCI	110
Tabla 36. Evaluación de parámetros de diseño cubículos UCI Res. 4445	111
Tabla 37. Evaluación de parámetros de instalación enfermería UCI, Res. 4445	111
Tabla 38. Evaluación de parámetros instalación de cubículos, Res. 2003	112
Tabla 39. Evaluación de parámetros instalación para aislamiento, Res. 2003	112
Tabla 40. Evaluación de la temperatura (T) en la UCI	114

Tabla 41. Evaluación de humedad relativa (HR) en UCI	115
Tabla 42. Calificación del ambiente interior de la UCI	115
Tabla 43. Cálculo de la densidad del aire y variables ambientales	116
Tabla 44. Datos reales de entalpia	116
Tabla 45. Cálculo de carga térmica real por aire tratado (QRa)	117
Tabla 46. Cálculo de la carga térmica real por equipos misceláneos (QRe)	118
Tabla 47. Cálculo de la carga térmica real debida a infiltraciones (QRi)	118
Tabla 48. Cálculo de carga térmica real por transmisiones de paredes (QRk)	119
Tabla 49. Cálculo de carga térmica real debida a los ocupantes (QRo)	119
Tabla 50. Cálculo de la carga térmica real debida a fuentes lumínicas (QRf)	120
Tabla 51. Cálculo de la carga térmica real total (QRT)	120
Tabla 52. Parámetros reales del sistema con refrigerante R22	121
Tabla 53. Cálculo de los parámetros de desempeño reales de equipos	122
Tabla 54. Cálculo de la densidad del aire y los parámetros ambientales	122
Tabla 55. Datos ideales de entalpia	123
Tabla 56. Cálculo de la carga térmica ideal por aire tratado (QIa)	123
Tabla 57. Cálculo de la carga térmica ideal por equipos misceláneos (QIe)	124
Tabla 58. Cálculo de carga térmica ideal por transmisiones de paredes (QIk)	124
Tabla 59. Cálculo de carga térmica ideal por ocupantes (QIo)	125
Tabla 60. Cálculo de la carga térmica ideal debida a fuentes lumínicas (QIf)	125
Tabla 61. Cálculo de carga térmica ideal total (QIT)	126
Tabla 62. Parámetros ideales del sistema con refrigerante R22	126
Tabla 63. Cálculo de los parámetros de desempeño ideales de equipos	127
Tabla 64. Calificación del desempeño de equipos de la UCI	128
Tabla 65. Comparación entre el consumo eléctrico real y el ideal	128
Tabla 66. Formato de análisis de falla de equipos de la UCI	133
Tabla 67. Calificación de la infraestructura de equipos de la UCI	134
Tabla 68. Calificación del cumplimiento de la UCI	134
Tabla 69. Dimensiones de los cubículos de neonatología	139
Tabla 70. Evaluación de parámetros de diseño en neonatología Res. 4445	139
Tabla 71. Evaluación de parámetros de instalación enfermería, Res. 4445	140
Tabla 72. Evaluación de parámetros de instalación cubículos, Res. 2003	141
Tabla 73. Evaluación de parámetros de instalación aislamiento, Res. 2003	142
Tabla 74. Evaluación de la temperatura (T) en la unidad de neonatología	144
Tabla 75. Evaluación de la humedad relativa (HR) en neonatología	145
Tabla 76. Calificación del ambiente interior de neonatología	145
Tabla 77. Cálculo de la densidad del aire y variables ambientales	146
Tabla 78. Datos reales de entalpia	146
Tabla 79. Cálculo de la carga térmica real por aire tratado (QRa)	147
Tabla 80. Cálculo de la carga térmica real por equipos misceláneos (QRe)	148
Tabla 81. Cálculo de la carga térmica real debida a infiltraciones (QRi)	148
Tabla 82. Cálculo de carga térmica real por transmisiones de paredes (QRk)	149
Tabla 83. Cálculo de carga térmica real debida a los ocupantes (QRo)	149
Tabla 84. Cálculo de la carga térmica real debida a fuentes lumínicas (QRf)	150

Tabla 85. Cálculo de carga térmica real total (QRT)	150
Tabla 86. Parámetros reales del sistema con refrigerante R22	151
Tabla 87. Cálculo de los parámetros de desempeño reales de equipos	152
Tabla 88. Cálculo de la densidad del aire y los parámetros ambientales	152
Tabla 89. Datos ideales de entalpia	153
Tabla 90. Cálculo de carga térmica ideal por aire tratado (QIa)	153
Tabla 91. Cálculo de la carga térmica ideal por equipos misceláneos (QIe)	154
Tabla 92. Cálculo de carga térmica ideal por transmisiones de paredes (QIk)	154
Tabla 93. Cálculo de la carga térmica ideal por ocupantes (QIo)	155
Tabla 94. Cálculo de la carga térmica ideal debida a fuentes lumínicas (QIf)	155
Tabla 95. Cálculo de la carga térmica ideal total (QIT)	156
Tabla 96. Parámetros ideales del sistema con refrigerante R22	156
Tabla 97. Cálculo de los parámetros de desempeño ideales de equipos	157
Tabla 98. Calificación del desempeño de equipos de neonatología	158
Tabla 99. Comparación entre el consumo electrico real y el ideal	158
Tabla 100. Formato de analisis de falla de equipos de neonatologia	162
Tabla 101. Calificacion de la infraestructura de equipos de neonatologia	162
Tabla 102. Calificación del cumplimiento de neonatología	163
Tabla 103. Dimensiones de los salas de imagenología	169
Tabla 104. Evaluación de parámetros de diseño en imagenología Res. 4445	169
Tabla 105. Evaluación de parámetros instalación Imagenología, Res. 4445	170
Tabla 106. Evaluación de temperatura (T) en la unidad de Imagenología	172
Tabla 107. Evaluación de humedad relativa (HR) en la unidad de imagenología	173
Tabla 108. Calificación del ambiente interior de imagenología	173
Tabla 109. Cálculo de la densidad del y variables ambientales	174
Tabla 110. Datos reales de entalpia	174
Tabla 111. Cálculo de carga térmica real por aire tratado (QRa)	175
Tabla 112. Cálculo de la carga térmica real por equipos misceláneos (QRe)	175
Tabla 113. Cálculo de la carga térmica real debida a infiltraciones (QRi)	176
Tabla 114. Cálculo de la carga térmica real por transmisiones (QRk)	176
Tabla 115. Cálculo de la carga térmica real debida a los ocupantes (QRo)	177
Tabla 116. Cálculo de la carga térmica real debida a fuentes lumínicas (QRf)	177
Tabla 117. Cálculo de la carga térmica real total (QRT)	178
Tabla 118. Parámetros reales del sistema con refrigerante R22	178
Tabla 119. Calculo de los parámetros de desempeño reales de equipos	179
Tabla 120. Calculo de la densidad del aire y los parametros ambientales	180
Tabla 121. Datos ideales de entalpia	180
Tabla 122. Cálculo de la carga térmica ideal por aire tratado (QIa)	181
Tabla 123. Cálculo de la carga térmica ideal por equipos misceláneos (QIe)	181
Tabla 124. Cálculo de la carga térmica ideal por transmisiones (QIk)	182
Tabla 125. Cálculo de la carga térmica ideal por ocupantes (QIo)	183
Tabla 126. Cálculo de la carga térmica ideal debida a fuentes lumínicas (QIf)	183
Tabla 127. Cálculo de carga térmica ideal total (QIT)	183
Tabla 128. Parámetros ideales del sistema con refrigerante R22	184

Tabla 129. Cálculo de los parámetros de desempeño ideales de equipos	185
Tabla 130. Calificación del desempeño de equipos de imagenología	185
Tabla 131. Comparación entre el consumo eléctrico real y el ideal	185
Tabla 132. Formato de análisis de falla de equipos de imagenología	190
Tabla 133. Calificación de la infraestructura equipos de imagenología	190
Tabla 134. Calificación del cumplimiento del imagenología	191
Tabla 135. Calificación general de la climatización del hospital	192
Tabla 136. Cálculo del costo total del curso de formación	194
Tabla 137. Cálculo de costos del piso conductor para las áreas evaluadas	194
Tabla 138. Cálculo de costos del techo aseptico para las áreas evaluadas	195
Tabla 139. Cálculo de costos de pintura para las áreas evaluadas	195
Tabla 140. Cálculo de costos de guardaescoba para las áreas evaluadas	196
Tabla 141. Cálculo del costo de equipos de climatización	197
Tabla 142. Cálculo del costo del desarrollo del proyecto	197

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Propiedades de la atmosfera a gran altitud	208
Anexo B. Diagrama de mollier para refrigerante r22	209
Anexo C. Carta psicrométrica para la altitud de manizales	210
Anexo D. Propiedades termo físicas del refrigerante r22	211

RESUMEN

La climatización del ambiente interior en los hospitales comprende una serie de controles de aspectos de manejo del aire y de diseño de los ambientes, que permiten el bienestar de las personas en su interior; estos controles deben ser regulados y estandarizados de acuerdo con documentos y normativas existentes, que requieren ser mejorados y controlados en Colombia.

Gracias a la identificación de la normativa y documentación sobre las salas limpias en hospitales, se pudo conocer la forma como deben realizarse las prácticas de manejo del aire al interior de estas, en este caso, el hospital seleccionado de la ciudad de Manizales, mediante un estudio de carácter técnico, se pudo evaluar el cumplimiento correspondiente.

Se evaluó dicho hospital por medio de visitas técnicas para conocer el estado actual de las instalaciones, sus ambientes, equipamiento y por último su infraestructura de equipos.

Palabras Clave: Asepsia, climatización, evaluación técnica, refrigeración, riesgo ambiental y salas limpias.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud¹ (OMS), 1 de cada 25 pacientes hospitalizados adquieren una infección por estar expuestos al ambiente interior de las instalaciones hospitalarias, es decir que 4.1 millones de pacientes son afectados por la denominada infección nosocomial, de los cuales 37,000 pacientes mueren².

La necesidad de que se realice un estudio que permita el mejoramiento de la calidad del servicio de salud prestado en Colombia, radica en que las instalaciones construidas no cumplen completamente con las normativas que rigen la climatización del ambiente interior, ni cumplen con el diseño del interior de las instalaciones de salud.

La Asociación Colombiana de Acondicionamiento del Aire y la Refrigeración (ACAIRE) quien como entidad podrá promover prácticas de mejora en el proceso de climatización en salas limpias, brindando los conocimientos necesarios para desarrollar proyectos de ingeniería y tecnología del manejo el aire en Colombia.

Es importante que este proyecto permita a ACAIRE estimular la implementación del correcto manejo de los espacios hospitalarios en Colombia, a partir de la caracterización y la evaluación de equipos y ambientes, y el cumplimiento de la normativa existente.

El objetivo principal de este proyecto propone *“evaluar técnicamente el proceso de climatización de salas limpias en Colombia, para ACAIRE”*. Mediante el desarrollo de estos objetivos específicos:

1. Caracterizar el proceso de climatización de salas limpias en un hospital en Manizales, Caldas.
2. Identificar las normas reguladoras para la climatización de salas limpias en hospitales.
3. Evaluar técnicamente equipos y ambientes del hospital seleccionado.
4. Determinar parámetros y condiciones de diseño y operación de equipos y ambientes de acuerdo con normativas y especificaciones técnicas.
5. Analizar comparativamente los parámetros y condiciones teóricas contra la evaluación técnica realizada.
6. Determinar los costos del desarrollo del proyecto.

¹ Office of Disease Prevention and Health Promotion, (ODPHP). Health Care - Associated Infections. Disponible en: <https://health.gov>

² Ministerio de Salud y Protección Social Dirección de Promoción y Prevención Subdirección de Enfermedades Transmisibles. Programa De Prevención, Vigilancia Y Control De Infecciones Asociadas a La Atención En Salud-IAAS Y La Resistencia Antimicrobiana. 2018. p. 8.

La caracterización del proceso de climatización de salas limpias del hospital seleccionado en Manizales consistió en la realización de las siguientes actividades:

- Se realizó la identificación de las condiciones climatológicas que someten la ciudad, como registros de temperatura, humedad relativa, presión atmosférica y temporadas climáticas.
- Se desarrolló el reconocimiento del estado actual de los ambientes interiores de las salas limpias evaluadas del hospital, a partir de la visita a sus instalaciones y de la información técnica suministrada por la institución.
- Se determinó el estado actual del desempeño de los equipos a partir de las mediciones realizadas en dicha visita y de los cálculos realizados.
- Se especificó el estado actual de la infraestructura de los equipos, mediante un formato de análisis de falla, con el fin de detallar las partes u elementos afectados de los equipos evaluados.

El desarrollo de esta caracterización servirá como referente metodológico para la implementación de esta evaluación en las diferentes regiones del país.

El alcance del proyecto comprende la evaluación técnica de la climatización en las salas limpias de un hospital seleccionado en Manizales, Caldas, analizando el estado actual de los servicios de salud brindados, de los ambientes interiores y de los equipos relacionados con el manejo del aire en su interior.

Los obstáculos en el desarrollo del proyecto son a la confidencialidad de la información suministrada por el hospital seleccionado, la autorización para ingresar a las salas de cirugía y ambientes interiores del hospital que está sujeta a la disponibilidad de ingreso en las instalaciones.

Por último, el proyecto se puede utilizar para evaluar cada uno de los procesos hospitalarios que se desarrollan en todas las instituciones prestadoras de salud en Colombia.

1. GENERALIDADES DE LA CLIMATIZACIÓN EN SALAS LIMPIAS

La ciudad de Manizales es una ciudad que está ubicada en un piso térmico frío (cuadro 1) ya que su altitud es de 2160m sobre el nivel del mar (s. n. m.)³ y con una temperatura media anual de 17.3°C registrada por el IDEAM⁴ para el año 2018. En el cuadro 1 se describieron las características específicas de altitud y temperatura media para cada uno de los pisos térmicos, de acuerdo con sus características geográficas, con el fin de que esta información se pueda aplicar a todo Colombia, teniendo en cuenta su diversidad geográfica.

Cuadro 1. Taxonomía de los pisos térmicos en Colombia

Piso térmico	Altitud [m s. n. m.]	Temperatura media [°C]
Cálido	0 a 1,000	>24
Templado	1,000 a 2,000	≥17.5
Frio	2,000 a 3,000	≥12
Páramo	> 3,000	<12

Fuente: MOLANO, Joaquín y BATISTA, José M. Calendario Climatológico Aeronáutico. En: Sociedad Geográfica De Colombia. vol. 95-96. p. 2.

Es preciso resaltar la diversidad topográfica en Colombia, en donde las propiedades del aire ambiente, como la temperatura y la humedad relativa, se verán afectadas por los cambios climáticos en cada temporada, de modo que, para el país existen periodos climáticos específicos como se muestran en el cuadro 2. Dicho esto, el entorno evaluativo de este proyecto correspondiente a la ciudad de Manizales se relaciona con una zona tropical cercana a la línea del ecuador,

Cuadro 2. Temporadas climáticas en Colombia

Temporada	Desde	Hasta
Seca	21 de diciembre	21 de marzo
Húmeda	21 de marzo	21 de junio
Seca	21 de junio	21 de septiembre
Lluviosa	21 de septiembre	21 de diciembre

Fuente: MOLANO, Joaquín y BATISTA, José M. Calendario Climatológico Aeronáutico. En: Sociedad Geográfica De Colombia. vol. 95-96. p. 8.

³ PUERTO, Efraín A. Capítulo, Presión Atmosférica. Febrero 26, Disponible en: <https://efrainpuerto.wordpress.com>

⁴ IDEAM. Boletín Climatológico Mensual. Agosto. 2018. p. 53

1.1 CLIMATIZACIÓN

Existe gran variedad de procesos para tratar sustancias como el agua o el aire, entre ellos, la climatización que es aquel directamente relacionado con el bienestar atmosférico en las actividades humanas; la climatización se define como “la acción y efecto de dar a un espacio cerrado las condiciones de temperatura, humedad relativa, calidad del aire y, a veces, también presión, necesarias para el bienestar de las personas.”⁵

Es importante disponer de un ambiente limpio para el desarrollo de las actividades y procesos industriales en los cuales se tendrá la presencia de seres humanos. A continuación, se citan los diferentes procesos que componen la climatización:

- Criogenia
- Congelación
- Refrigeración
- Conservación
- Confort
- Calefacción
- Secado

La climatización consiste en crear un clima artificial en un espacio específico, por lo que, la situación ideal para la presencia de los seres humanos al interior de una instalación de salud es el confort, el cual representa el objetivo de este proyecto.

1.1.1 Confort. Se define como “esa condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico y es evaluado subjetivamente”⁶ Garantizar el confort al interior de una instalación permite que el ser humano pueda participar en actividades o procesos que allí se realicen. Enric Auli⁷ resalta las causas fundamentales que determinan que una instalación cumpla con los requerimientos de calidad ambiental interior:

- La contaminación procedente del exterior.
- La que se desprende de los materiales y mobiliario.
- La que se desprende de instalaciones defectuosas.
- Las producidas por las actividades de los ocupantes de los edificios.

⁵ MINISTERIO DE INDUSTRIA ENERGÍA Y TURISMO. Reglamento Técnico De Instalaciones Térmicas En Edificaciones (RITE). Madrid, España: 2013. p. 121.

⁶ ANSI/ASHRAE. Standard 55 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. 2013. p. 3.

⁷ AULÍ, Enric. Sostenibilidad En Centros Sanitarios. 1 ed. Barcelona: Plataforma, 2010. p. 119-124

1.1.1.1 Temperatura (T). Técnicamente se simboliza con la letra T , se define como una medida de la cantidad de calor que tiene un objeto⁸. Para el ser humano, los sentidos desempeñan el mecanismo que percibe que tan caliente está un objeto, sin embargo, esta sensación de calor depende de la conductividad térmica del material que se perciba más caliente que otro que tiene la misma temperatura, para esto, las escalas de temperatura cuantifican de forma precisa la cantidad de calor.

1.1.1.2 Humedad relativa (HR). Se define como “el cociente entre la presión parcial de vapor de agua en el aire y la presión de saturación” el punto de saturación se refiere al fenómeno en el cual el aire no puede disolver más vapor de agua, por lo tanto, ésta empieza a condensarse.

Ecuación 1. Humedad Relativa⁹ (HR)

$$HR = \frac{P_v}{P_g} \cdot 100 \quad [\%]$$

Donde:

P_v = Cantidad de vapor de agua	[kPa]
P_g = Máxima cantidad vapor de agua en el aire	[kPa]
100 = Humedad relativa expresada en porcentaje	-

1.1.1.3 Densidad del aire (ρ). “la cantidad de masa de aire húmedo contenida en una unidad de volumen”¹⁰, está relacionado con las propiedades climatológicas del medio, ya que se relaciona inversamente con el aumento de la altitud sobre el nivel del mar y que también se relaciona directamente con la disminución de la presión.

Para determinar la densidad del aire y tener en cuenta las propiedades climatológicas de la atmosfera, como las indica en la ecuación 2 (siguiente página), donde se relacionan las propiedades del aire seco y del aire húmedo para las condiciones climatológicas del ambiente en Manizales; este método es más preciso respecto a las tablas de densidad del aire a gran altitud, ya que los valores allí registrados son determinados experimentalmente considerando únicamente las propiedades del aire seco.

⁸ SERWAY, Raymond. Física Para Ciencias E Ingeniería Vol I. 7 ed. Cengage Learning Editores, 2008. ISBN: 978-970-686-822-0. p. 532.

⁹ GARCÍA ALMIÑANA, Daniel. Instalaciones De Refrigeración Y Aire Acondicionado. Barcelona: Editorial UOC, 2007. ISBN: 978-849-029-546-5. p. 76.

¹⁰ Ibid., p. 78.

Ecuación 2. Densidad del aire¹¹ (ρ)

$$\rho = \frac{P - \varphi P_{ws}}{T R'_a} + \frac{\varphi P_{ws}}{T R'_w} \quad [\text{kg/m}^3]$$

Donde:

P = Presión atmosférica	[Pa]
φ = Humedad relativa	[%]
P_{ws} = Presión de vapor de saturación	[Pa]
T = Temperatura absoluta	[K]
R'_a = Cte. Específica del aire seco	[J/kgK]
R'_w = Cte. Específica del aire húmedo	[J/kgK]

Miranda¹² demuestra que las constantes específicas del aire seco (R'_a) y del aire húmedo, (R'_w) corresponden a valores que correlacionan los parámetros de cálculo de acuerdo con las propiedades del aire seco y del aire húmedo respectivamente. Por último, el valor de la presión de vapor de saturación (P_{ws})¹³, se obtiene mediante lo descrito en el anexo A ya que es una variable que depende de la temperatura.

Cuadro 3. Constantes específicas del aire¹⁴ (R'_a), (R'_w)

Variable	Descripción	Valor	Unidad
R'_a	Cte. Específica del aire seco	287.1	[J/kgK]
R'_w	Cte. Específica del aire húmedo	461.4	[J/kgK]

Fuente: MIRANDA, Ángel Luis. Técnicas De Climatización (2a. Ed.). Barcelona: Marcombo, 2008. ISBN: 978-144-920-965-0. p. 7.

1.1.2 Bioaerosoles. También conocidos como partículas, son una cantidad de materia muy pequeña que se encuentran mezcladas con el aire que pueden transmitir enfermedades, por esta razón representan un riesgo inminente cuando están presentes en el interior de las salas limpias. “En la medida en que las partículas se hacen muy pequeñas, dejan de comportarse como partículas para asemejarse más al comportamiento de las moléculas en estado gaseoso”¹⁵, siendo las partículas derivaciones de los diferentes procesos de contaminación atmosférica y que están presentes en el aire que respiramos.

¹¹ MIRANDA, Ángel Luis. Técnicas De Climatización (2a. Ed.). Barcelona: Marcombo, 2008. ISBN: 978-144-920-965-0. p. 14

¹² Ibid., p. 7

¹³ Ibid., p. 192

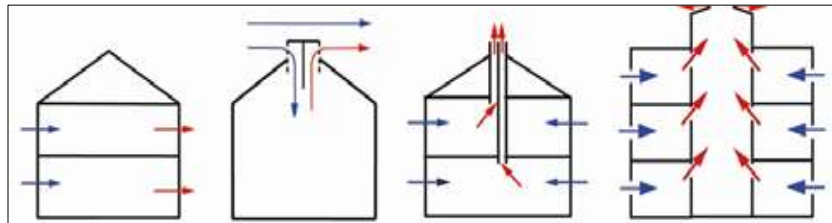
¹⁴ Ibid., p. 13

¹⁵ IAASE S.A. Ingeniería en Acondicionamiento del Aire y Sistemas de Enfriamiento. Diseño Y Control De Sistemas De Aire Acondicionado Para Cuartos Limpios. 1 ed. México: p. 17-18

El tamaño en el que las partículas actúan verdaderamente como partículas es de aproximadamente 0.01 micrones¹⁶ y técnicamente pueden ser caracterizadas como bioaerosoles ya que por su nombre indican que son las partículas biológicas que pueden ser mezcladas en el aire; la norma UNE 171340¹⁷ las define como los agentes biológicos en suspensión en un medio gaseoso, por esta razón, el termino bioaerosoles podrá encontrarse en documentos técnicos relacionados con las instalaciones y construcciones; así como el confort se encarga de garantizar los parámetros ambientales ideales para la permanencia del ser humano, al mismo tiempo, el confort representa un escenario ideal para el crecimiento de partículas y bacterias al interior de las instalaciones

1.1.3 Ventilación. Esta técnica de acondicionamiento de aire corresponde al movimiento y desplazamiento del aire de un punto a otro, proceso que se da de forma natural o de forma mecánica. La humanidad a lo largo de la historia y mediante su avance tecnológico, ha permitido tener el control de este proceso de acuerdo con sus necesidades.

Figura 1. Sistema de ventilación natural (conceptual)



Fuente: ATKINSON, James. Natural Ventilation for Infection Control in Health-Care Settings. 2009. ISBN: 978-924-154-785-7. p. 33.

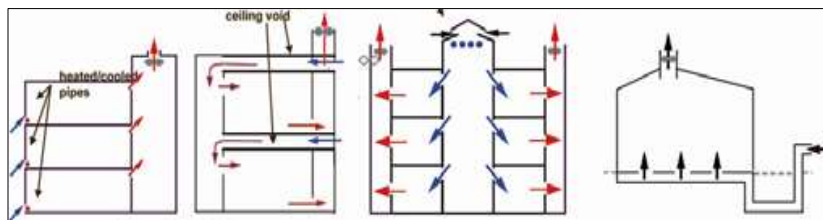
Como lo indica James¹⁸ la ventilación natural difiere de la ventilación mecánica gracias a que el movimiento del aire se lleva a cabo por la diferencia de densidad en las corrientes de aire, mientras que, la ventilación mecánica corresponde al movimiento del aire ocasionado por la intervención de equipos y máquinas que impulsan o extraen el aire. La ventilación permite el control sobre situaciones de riesgo, como el estrés térmico, el cual genera ambientes de trabajo inseguros, la acumulación de residuos y partículas que se suspenden en el aire interior y son derivados de las actividades y procesos realizados y de la alta complejidad de las operaciones de la industria moderna.

¹⁶ Ibid., p. 17.

¹⁷ ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, (AENOR). UNE 171340 Validación Y Cualificación De Salas De Ambiente Controlado En Hospitales. Madrid España. 2011. p. 5.

¹⁸ ATKINSON, James. Natural Ventilation for Infection Control in Health-Care Settings. 2009. ISBN: 978-924-154-785-7. p. 33.

Figura 2. Sistema de ventilación mecánica (conceptual)



Fuente: ATKINSON, James. Natural Ventilation for Infection Control in Health-Care Settings. 2009. ISBN: 978-924-154-785-7. p. 33.

1.1.3.1 Impulsión. En la ventilación mecánica, la impulsión permite el ingreso del aire exterior a los ambientes interiores de forma controlada. Goberna¹⁹ clasifica la impulsión en dos funciones específicas, la primera consiste en el proceso en el cual el aire interior debe ser renovado o sustituido y la segunda, crea un ambiente confortable en el interior de las instalaciones, por medio de sistemas básicos de calefacción, refrigeración o ventilación.

1.1.3.2 Extracción. Cuando se busca que el aire ambiente interior sea sustituido, es necesaria su extracción. Los sistemas de extracción se emplean para eliminar los contaminantes generados por alguna operación o actividad realizada, y así mantener un ambiente de trabajo saludable²⁰.

1.1.3.3 Filtración. Mitigar la concentración de partículas requiere el uso de sistemas de filtración capaces de retener las partículas que ingresan desde el exterior y, en algunas ocasiones, que sean capaces de retener las que salen del interior, derivadas de los procesos y actividades que allí se realizan.²¹

1.2 CALIDAD DEL AIRE

La Calidad del aire ambiente corresponde al nivel de bienestar del entorno, específicamente, la calidad ambiental urbana se refiere al “resultado de la interacción del conjunto de factores humanos y ambientales que inciden favorable o desfavorablemente en los habitantes de una ciudad”²².

¹⁹ GOBERNA, Ricardo. Ventilación Industrial. España: 1992. ISBN: 87-7890-818-8. p. 1-2

²⁰ Ibid. p. 1-2.

²¹ KOENIGSHOFER, Dan. HVAC Design Manual for Hospitals and Clinics, Second Edition. 2nd ed. Atlanta, Ga: ASHRAE, 2013. ISBN: 193-650-439-1. p. 10.

²² MINISTERIO DE AMBIENTE. Índice de calidad ambiental urbana (ICAU). p. s.n.

1.2.1 Riesgo ambiental. Definido por la Confederación Empresarial de la Provincia de Alicante (COEPA) como “la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno que afecta directa o indirectamente al medio ambiente. Se trata de un peligro ambiental al que pueden estar sometidos los diversos elementos que se incluyen en el medio ambiente incluidos los seres humanos.”²³

La posibilidad de que exista un nivel de riesgo en un espacio específico, un lugar, un proceso o una actividad económica, determina la intervención para el desarrollo de una solución o un modo de mitigarlo. El riesgo por contaminación ambiental resaltó el argumento principal sobre el cual se fundamenta la realización de este proyecto.

1.2.2 Calidad del aire interior (CAI). En un espacio cerrado, la calidad del aire determina qué tan respirable es el aire por quienes se encuentran en su interior. La EPA la define como “la calidad propia del aire en el interior y alrededor de las construcciones y estructuras, especialmente las relacionadas con los aspectos de sanidad y confort.”²⁴ La calidad del aire interior se afecta por la calidad del aire que ingresa desde el exterior y por las actividades que se realicen en las instalaciones.

1.3 SALAS LIMPIAS

La norma NTC-ISO 14644-1 la define como una “sala en el cual la concentración del número de partículas de aire es controlado y clasificado, diseñado, construido y operado de manera que permita el control a la introducción, generación y retención de partículas dentro de la sala”²⁵.

Las salas limpias corresponden a los espacios interiores de algunas instalaciones donde se requieren un diseño y construcción especiales con el objetivo de mitigar la contaminación. Comúnmente hacen referencia a laboratorios farmacéuticos, electrónicos y las IPS. De acuerdo con los requerimientos sanitarios, existen unas denominaciones que categorizan las áreas de restricción (zona negra, gris y blanca) ... véase numeral 1.3.3 ...

1.3.1 Instituciones prestadoras de servicios de salud (IPS). Comúnmente, existen hospitales, clínicas y centros ambulatorios, definidos por resolución 4445 de 1996 del ministerio de salud, las define como “todas las instalaciones prestadoras de

²³ COEPA. El Riesgo Ambiental Guía De Gerencia De Riesgos Ambientales. 2007. p. s.n.

²⁴ EPA U.S. Environmental Protection Agency. Indoor Air Quality (IAQ). Disponible en: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/introduction-indoor-air-quality>

²⁵ ICONTEC. NTC-ISO 14644-1 Salas Limpias Y Ambientes Controlados Asociados Parte 1: Clasificación De Limpieza De Aire Por Concentración De Partículas. (Dic 07,). 2016. p. 2.

servicios de salud públicas, privadas o mixtas en las fases de promoción, prevención, diagnóstico, tratamiento y rehabilitación física o mental”²⁶.

Las IPS juegan un papel crucial en los eventos catastróficos y de emergencia, por ser el lugar dedicado específicamente a la salud, siendo los únicos establecimientos que deben tener sus características físicas y funcionales idealmente aptas para realizar el tratamiento de personas heridas o enfermas. Sin embargo, por ser el centro las intervenciones médicas, se convierte en un establecimiento con un alto nivel de riesgo para las personas al estar expuestas a infecciones nosocomiales. Las personas que están presentes en una IPS difieren en las actividades que desempeñan en el interior de estas; clasificados como:

- Pacientes infectocontagiosos, son aquellos huéspedes que padecen alguna enfermedad viral.
- Personal de trabajo. Es todo el personal que trabaja al interior de las IPS.
- Pacientes inmunodeprimidos. Personas quienes tienen alto riesgo de contraer alguna enfermedad, ya que su sistema inmunológico no está funcionando apropiadamente.

1.3.1.1 Clasificación de las instituciones de salud. En el cuadro 4, se describen las diferentes IPS de acuerdo con el tipo de servicio de salud

Cuadro 4. Taxonomía de instituciones prestadoras de servicios de salud (IPS)

IPS	Descripción
Hospital general	Hospitales de salud mental y adicciones
	Hospitales de especialistas
Establecimientos de cuidado residencial a largo plazo	Centros residenciales de cuidado médico a largo plazo
	Centros de salud mental y abuso de sustancias
	Otros establecimientos residenciales de cuidado largo plazo
Prestadoras de atención ambulatoria	Consultorios médicos
	Consultorios medicina general
	Consultorios de especialistas en salud mental
	Consultorios de médicos especialistas
	Consultorios odontológicos

²⁶ COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Resolución 04445. (Dic 26,). Bogotá D.C., 1996. Por el cual se dictan normas para el cumplimiento del contenido del Título IV de la ley 09 de 1979, en lo referente a las condiciones sanitarias que deben cumplir las Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud, y se dictan otras disposiciones técnicas y administrativas. p. 2.

Cuadro 4. (Continuación)

	Consultorios de otros profesionales de la salud
	Centros de atención ambulatoria
	Centros de planificación familiar
	Centros de salud mental y adicciones
	Centro independientes de cirugía ambulatoria
	Centros de diálisis
	Otros centros de diálisis
	Otros centros ambulatorios
	Prestadora de servicios de salud en casa
	Otros servicios ambulatorios.
Prestadores de servicios auxiliares	Transporte de pacientes y rescate de emergencias
	Laboratorios médicos y de diagnóstico
	Otros prestadores de servicios auxiliares
Minoristas y otros prestadores de bienes médicos	Farmacias
	Vendedores al por menor y otros prestadores de bienes médicos duraderos y aparatos médicos
Prestadores de promoción y prevención	Centros de promoción y prevención

Fuente: RIVERA-TRIVINO, Andrés Felipe; PRADA-RIOS, Sergio Iván y PEREZ-CASTANO, Ana Melissa. Clasificación de instituciones prestadores de servicios de salud. En: Revista Gerencia Y Políticas De Salud. Jan 1, vol. 16, no. 32, p. 51

1.3.2 Infección nosocomial. Es aquella contraída por las personas que están al interior de IPS; conocida como infección intrahospitalaria o como *Hospital-acquired infection (HAI)*²⁷ lo cual resalta la importancia que tiene la contaminación generada en el interior de una instalación médica. Deben existir unas medidas de control específicas en la disposición de residuos hospitalarios, la supervisión de los procesos realizados en el interior de las instalaciones, un control sobre la limpieza y la calidad del aire interior.

1.3.3 Áreas de restricción en las salas limpias. Con el objetivo de tener un mayor control sobre la asepsia al interior de las IPS, las áreas son distribuidas en atención a los niveles exigencia de los procedimientos que allí se llevan a cabo, desde ordinarias tareas de oficina y funciones administrativas, hasta las intervenciones quirúrgicas más rigurosas. Las áreas de restricción se clasifican en zona negra, zona gris y zona blanca.

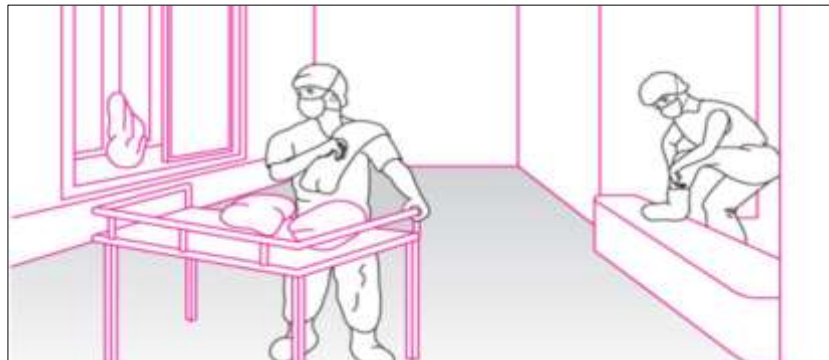
²⁷ KOENIGSHOFER. Op. cit., p. 10

1.3.3.1 Zona negra. Es la zona que corresponde a la región de restricción, en ella está el ingreso a las instalaciones y son las zonas donde participan procesos de urgencias, recepción y consulta externa, entre otros. También, es donde se realiza trabajo administrativo, gracias a que no existe un alto nivel de requerimientos asépticos para esta zona²⁸, por esta razón se denomina generalmente como zona negra. Adicionalmente, representa la frontera entre el exterior y las demás áreas internas, dado que es una barrera contra los riesgos de contaminación que están en el exterior.

1.3.3.2 Zona gris. Conocida también como la zona limpia, en ella se evidencia un requerimiento de limpieza mayor al de la zona negra y a la vez menor que en la zona blanca; es donde todo el personal que esta al interior tanto pacientes como personal de trabajo, deben vestir una pijama quirúrgica, el cabello se debe cubrir con un gorro que lo contenga completamente impidiendo su caída en espacios críticos, la nariz y boca se deben cubrir con un tapabocas con el objetivo de retener las partículas infecciosas que pueden ser transmitidas por el aire exhalado o por la saliva²⁹.

La zona gris es la que tiene espacios controlados que comunican con las áreas de servicios auxiliares, mediante accesos y trampas, tanto para el paso del personal (ver figura 3) como el de camillas y diferentes equipos.

Figura 3. Área de transferencia de equipos y personal



Fuente: ARCHUNDIA GARCÍA, Abel. Cirugía 1: Educación Quirúrgica (6a. Ed.). México, D.F.: McGraw-Hill Interamericana, 2017. ISBN: 978-607-15-1411-0. p. s.n.

Las trampas o áreas de transferencia de materiales y equipos normalmente se conectan a través de una cabina entre la zona negra y la zona gris. La comunicación se logra gracias a la apertura o cierre de ventanas corredizas con las que se controla

²⁸ ARCHUNDIA GARCÍA, Abel. Cirugía 1: Educación Quirúrgica (6a. Ed.). México, D.F.: McGraw-Hill Interamericana, 2017. 978-607-15-1411-0. p. s.n.

²⁹ Ibid., p. s.n.

dicha transferencia, cómo se puede evidenciar en la figura 3. El funcionamiento consiste en ubicar el equipo en cuestión y todo el instrumental quirúrgico que se quiera transferir entre las zonas mencionadas.

1.3.3.3 Zona blanca. La zona blanca o zona estéril, corresponde a la mayor área de restricción en la cual se deben tener en cuenta los más altos requerimientos de limpieza para el control de infecciones y el cuidado de las personas en su interior³⁰.

Figura 4. Características de una sala de operaciones



Fuente: ARCHUNDIA GARCÍA, Abel. Cirugía 1: Educación Quirúrgica (6a. Ed.). México, D.F.: McGraw-Hill Interamericana, 2017. 978-607-15-1411-0. p. s.n.

La figura 4 representa las características principales de las salas de cirugía en donde se destacan los siguientes accesorios y servicios:

- Las puertas con ventanilla (1)
- El sistema de ventilación de aire con flujo laminar (2)
- El sistema de control del confort y el termostato (3)
- Iluminación general e iluminación directa (4)
- Paneles de aspiración para captación de gases y energía (5)
- Reloj (6)
- Recolector de elementos cortopunzantes (7)
- Sistema de aspiración de aire (8)

Las zonas blancas son los espacios dedicados a las intervenciones quirúrgicas, conocidas como quirófanos; allí se llevan a cabo trasplantes de órganos, curación de traumas, entre otros. Están especialmente diseñadas para la práctica de actividades de alto riesgo, cuyo principio de operación es presencial y requiere el uso de un conjunto de elementos conocidos como instrumental quirúrgico.

³⁰ Ibid., p. s.n.

1.3.4 Clasificación de las salas limpias. Existe gran variedad de denominaciones de las salas limpias de acuerdo con diversidad de documentos y normativas, a continuación, se relaciona la clasificación más adecuada para las salas limpias.

1.3.4.1 Clases de locales. La norma UNE 100713³¹, clasifica los diferentes ambientes interiores de las IPS de acuerdo con las exigencias asépticas las cuales se relacionan tanto con el aire impulsado como con el ambiente interior.

Cuadro 5. Clases de locales interiores

Clase de local	Descripción
I	Con exigencias higiénicas muy altas
II	Con exigencias habituales (confort)

Fuente: ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, (AENOR). UNE 100713 Instalaciones De Acondicionamiento De Aire En Hospitales; Hospitales. Septiembre, 2005. p. 5.

1.3.4.2 Clasificación ISO por concentración de partículas. La norma ISO 14644-1³² clasifica las salas de ambiente controlado de acuerdo con el nivel de concentración de partículas en el ambiente interior así:

Cuadro 6. Clases de limpieza del aire ISO por concentración de partículas

N	Concentraciones máximas permitidas para partículas iguales o más grandes que los tamaños considerados [partículas /m ³]					
	0.1µm	0.2µm	0.3 µm	0.5 µm	1 µm	5 µm
1	10	-	-	-	-	-
2	100	24	10	-	-	-
3	1,000	237	102	35	-	-
4	10,000	2,370	1,020	352	83	-
5	100,000	23,700	10,200	3,520	832	-
6	1'000,000	237,000	102,000	35,200	8,320	293
7	-	-	-	352,000	83,200	2,930
8	-	-	-	3'520,000	832,000	29,300
9	-	-	-	35'200,000	8'320,000	293,000

Fuente: Instituto Colombiano de Normas Técnicas. Salas Limpias Y Ambientes Controlados Asociados Parte 1: Clasificación De Limpieza De Aire Por Concentración De Partículas NTC-ISO 14644-1. Bogotá D.C. (Dic 07,). 2016. p. 5.

³¹ ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, (AENOR). UNE 100713 Instalaciones De Acondicionamiento De Aire En Hospitales; Hospitales. Septiembre, 2005. p. 5.

³² ICONTEC. NTC-ISO 14644-1. Op cit., p. 5.

La designación de las salas limpias se estructura de acuerdo con la misma norma ISO 14644-1, primero el número de clase ISO "N" se expresa como "Clase ISO N" de acuerdo con el cuadro anterior; segundo, el estado de ocupación se refiere al estado en el que se encuentra las instalaciones, por último, el tamaño de partículas hace referencia al tamaño de partículas al que pertenece la clasificación, por ejemplo: Clase ISO 4, En funcionamiento, 0.2m.

1.3.4.3 Clasificación de quirófanos. Por sus siglas en inglés *Good Manufacturing Practices (GMP)*, la normativa GMP EU³³ propone una guía para clasificar la zona quirúrgica de acuerdo con las exigencias asépticas de los procedimientos quirúrgicos que se practican, por esta razón existen diferentes grados de clasificación para estas salas de cirugía, clasificadas así:

- Grado A: Es el quirófano donde se desarrollan intervenciones quirúrgicas de alto riesgo, por ejemplo, cirugía cardiovascular. En estas salas de cirugía se requiere una estación de flujo de aire laminar entre un rango de 0.36 a 0.54 m/s mientras se esté realizando una operación³⁴.
- Grado B: Para intervenciones quirúrgicas con alto nivel de limpieza en su ambiente interior, con un poco menos de requerimiento que las salas de grado A³⁵.
- Grado C y D: Salas limpias para realizar intervenciones quirúrgicas menos críticas, pero con igual equipamiento estéril que las salas de grado A y B³⁶.

En el siguiente cuadro (siguiente página) se establece el nivel de concentración máxima de partículas que debe tenerse en cuenta en la clasificación de los quirófanos cuando estos están en reposo y cuando en ellos se están realizando cirugías y procedimientos de salud.

³³ EUROPEAN COMMISSION. EU Guidelines to Good Manufacturing Practice (GMP) Medicinal Products for Human and Veterinary Use. (Nov 25,). Posthumanism: The Future of Homo Sapiens. 2008. p. 3.

³⁴ Ibid., p. 3.

³⁵ Ibid., p. 3.

³⁶ Ibid., p. 3.

Cuadro 7. Concentración de partículas por clasificación de quirófano

Grado	Máximo número permitido de partículas por m ³ igual o mayor que el tamaño tabulado			
	En reposo		Durante cirugía	
	0.5µm	5.0µm	0.5µm	5.0µm
A	3,520	20	3,520	20
B	3,520	29	3,520	29
C	352,000	2,900	352,000	2,900
D	3'520,000	29,000	Sin definir	Sin definir

Fuente: EUROPEAN COMMISSION. EU Guidelines to Good Manufacturing Practice (GMP) Medicinal Products for Human and Veterinary Use. (Nov 25,). Posthumanism: The Future of Homo Sapiens. 2008. p. 3.

1.3.4.4 Clasificación equivalente entre normativas. A pesar de que este proyecto se fundamenta principalmente en la normativa europea y norteamericana para el reconocimiento de las salas limpias, es importante resaltar que existen diversidad de documentos que hacen referencia dicha clasificación, por esta razón, la norma UNE 100713³⁷ relaciona coherentemente la normativa vigente para cada tipología de quirófanos, como se observa en el siguiente cuadro:

Cuadro 8. Clasificación de salas limpias

Tipo	UNE 10073	ISO 14644	Denominación	Tipo de intervención
A	Clase I	ISO 5	Quirófanos de cirugía especial o de alta tecnología	Trasplante de órganos, operaciones a corazón abierto. cirugía cardiaca, cirugía ortopédica con prótesis, neurocirugía
B	Clase I	ISO 7	Quirófanos convencionales	Cirugías convencionales y de urgencias, resto de operaciones quirúrgicas
C	Clase I	ISO 8	Quirófanos de cirugía ambulatoria	Cirugía ambulatoria y sala de partos, otras áreas

Fuente: ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, (AENOR). UNE 100713 Instalaciones De Acondicionamiento De Aire En Hospitales; Hospitales. Septiembre, 2005. p. 19.

³⁷ ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, (AENOR). UNE 100713. Op cit., p. 19.

1.4 MANEJO DEL AIRE

Gracias al conocimiento de los sistemas de climatización, actualmente se pueden analizar las oportunidades de mejora y optimización de procesos en favor del aumento de la calidad del servicio de salud prestado. Dichos sistemas de climatización están compuestos por una serie de equipos y métodos específicos.

1.4.1 Carga térmica. En un sistema de climatización la carga térmica se refiere a la cantidad de energía manifestada en forma de calor que tiene un espacio interior o un objeto³⁸, gracias a la posibilidad de cuantificar dicha manifestación de energía, se han podido desarrollar diferentes sistemas de climatización para compensar la ganancia o la pérdida de calor existente en el ambiente interior.

La carga térmica total (\dot{Q}_T) debe ser obtenida a través de un estudio completo y minucioso de la sala limpia, ya que son muchos los factores que intervienen en la selección del equipo y en el diseño de la instalación, la proyección de un sistema de climatización económico, eficiente y de acuerdo con las necesidades establecidas. Las cargas térmicas se representan en la siguiente ecuación.

Ecuación 3. Carga térmica total (\dot{Q}_T)

$\dot{Q}_T = \dot{Q}_a + \dot{Q}_e + \dot{Q}_i + \dot{Q}_k + \dot{Q}_o + \dot{Q}_f$	[kW]
<hr/>	
Donde:	
\dot{Q}_a = Carga térmica debida al aire interior	[kW]
\dot{Q}_e = Carga térmica por equipos misceláneos	[kW]
\dot{Q}_i = Carga térmica debida a infiltraciones.	[kW]
\dot{Q}_k = Carga térmica por transmisiones de paredes	[kW]
\dot{Q}_o = Carga térmica por ocupantes	[kW]
\dot{Q}_f = Carga térmica debida a fuentes lumínicas	[kW]

1.4.1.1 Carga térmica debida al aire interior (\dot{Q}_a). El aire corresponde a la sustancia más importante en todo el proceso; es preciso destacar que el aire se compone de una mezcla de diferentes sustancias en estado gaseoso (cuadro 9, siguiente página). Específicamente, la psicrometría se refiere a la caracterización del aire en condiciones geográficas específicas partiendo del estudio de sus propiedades termodinámicas. La carta psicrométrica (figura 5, siguiente página) es la herramienta principal que permite la relación de estas propiedades a las condiciones de confort.

³⁸ CARRIER, Air Conditioning Company. Manual De Aire Acondicionado. España: Marcombo S.A., 1980. ISBN: 84-267-0115-9. p. 1

Cuadro 9. Composición del aire seco

Símbolo	Sustancia	Composición [%]
N	Nitrógeno	78.09
O	Oxígeno	20.95
Ar	Argón	0.93
CO ₂	Dióxido de Carbono	0.03

Fuente: MIRANDA, Ángel L. Técnicas De Climatización. 2 ed. Barcelona, España: 2008. ISBN: 978-84-267-1476-3. p. 4.

Las condiciones geográficas afectan la temperatura, la presión atmosférica y la humedad relativa, pues serán muy diferentes en una altitud como la de la ciudad de Manizales respecto a las ciudades que están al nivel del mar.

Figura 5. Carta psicrométrica conceptual



Fuente: CARRIER, Air Conditioning Company. Manual De Aire Acondicionado. España: Marcombo S.A., 1980. ISBN: 84-267-0115-9. p. 109

El estudio del manejo del aire compromete la interacción de diferentes variables:

- La temperatura de bulbo seco o temperatura seca es aquella temperatura del ambiente, la cual consiste en una mezcla entre el aire seco y el vapor de agua.
- La temperatura bulbo húmedo o temperatura húmeda, es aquel valor de temperatura límite de enfriamiento que alcanza una partícula de vapor de agua contenida en el aire ambiente.
- la temperatura de punto de rocío corresponde a la temperatura en la cual se empieza a condensar el vapor de agua.
- La humedad relativa (*HR*), ... Véase la sección 1.1.1.4 ... contribuye a la relación entre el vapor de agua y la cantidad de saturación de este.

- La humedad absoluta (ω), contribuye a la cantidad de vapor de agua presente en el aire seco³⁹.
- El volumen específico (v) se refiere al volumen ocupado por unidad de masa de una sustancia⁴⁰.
- La entalpía (h) es la energía manifestada del proceso termodinámico de un fluido⁴¹

Ecuación 4. Carga térmica por aire tratado⁴² (\dot{Q}_a)

$$\dot{Q}_a = \frac{V\rho\Delta h}{n} \quad [\text{kW}]$$

Donde:

ρ = Densidad del aire	[kg/m ³]
V = Volumen del espacio climatizado	[m ³]
Δh = Diferencia de entalpías	[kJ/kg]
n = Tiempo de ciclado	[s]

Conociendo los valores de temperatura se puede determinar la diferencia de entalpías (Δh) a través del uso de la carta psicrométrica. Así mismo el valor de la densidad del aire debe ser obtenido a través del método para conocer las propiedades del aire seco y del aire húmedo, en el que se considera el valor de la presión atmosférica de acuerdo con la altitud de la ciudad en cuestión. ... véase numeral 1.1.1.3 ...

1.4.1.2 Carga térmica por equipos misceláneos (\dot{Q}_e). Es muy difícil brindar unas recomendaciones de ganancias de calor para equipos médicos, respecto a los equipos utilizados en otras instalaciones comunes como oficinas, debido a que existe mayor variedad de tipos y aplicaciones de acuerdo con las intervenciones realizadas en el hospital y a pesar de los pocos ensayos de carga térmica realizados, representan solo una pequeña fracción de los tipos y aplicaciones que deben ser tenidos en cuenta⁴³.

La relación entre la ganancia de calor y la de la energía nominal del fabricante se determina mediante la siguiente ecuación (siguiente página).

³⁹ MIRANDA. Op cit., p. 8.

⁴⁰YUNUS A. CENGEL y MICHAEL A. BOLES. Termodinámica. 8 ed. México, D.F.: McGraw-Hill Education, 2015. ISBN: 978-607-15-1281-9. p. 13

⁴¹ Ibid., p. 127.

⁴² CARRIER. Op. cit. p. 1-5.

⁴³ ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Chapter 18 Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations. En: ASHRAE® Handbook - Fundamentals (SI Edition). 2017. ISBN: 978-1-939200-58-7. p. 11.

Ecuación 5. Carga térmica por equipos misceláneos⁴⁴ (\dot{Q}_e)

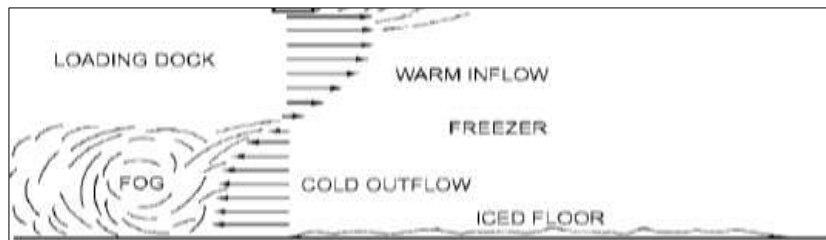
$$\dot{Q}_e = q_n F_L \quad [\text{kW}]$$

Donde:

q_n = Energía nominal de alimentación [kW]
 F_L = Relación entre ganancia de calor y energía nominal -

1.4.1.3 Carga térmica debida a infiltraciones (\dot{Q}_i). El aire del espacio adyacente al espacio que se quiere climatizar se infiltra comúnmente por la diferencia de densidades⁴⁵ entre el aire interior y el aire exterior, como lo muestra la figura 6.

Figura 6. Flujo de aire infiltrado a través de puertas



Fuente: ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Chapter 24 Refrigerated-Facility Loads. En: ASHRAE Handbook - Refrigeration (SI Edition). 2014. ISBN ISSN: 9781-936504725. p. 5

La ganancia de calor debida a infiltraciones a través de las puertas se obtiene mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 6. Carga térmica debida a infiltraciones⁴⁶ (\dot{Q}_i)

$$\dot{Q}_i = q D_t D_f (1 - E) \quad [\text{kW}]$$

Donde:

q = Carga sensible y latente de refrigeración [kW]
 D_t = Factor por tiempo de apertura de la entrada -
 D_f = Factor por flujo por la entrada -
 E = Eficiencia del dispositivo protector por la entrada -

⁴⁴ Ibid., p. 11.

⁴⁵ ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Chapter 24 Refrigerated-Facility Loads. En: ASHRAE Handbook - Refrigeration (SI Edition). 2014. ISBN ISSN: 9781-936504725. p. 5

⁴⁶ Ibid., p. 5.

El factor de flujo de entrada⁴⁷ (D_f) es la relación entre el intercambio de aire y el flujo de infiltración estable, que cual ocurre cuando el espacio de la puerta no tiene un control de cierre o no existe una puerta o algún otro obstáculo para el intercambio de aire. En estas condiciones, D_f es 1.0⁴⁸. La efectividad (E) de los dispositivos de apertura de puertas corresponde a un valor mayor que 0.95, cuando éste está recién instalado, Sin embargo, dependiendo del nivel de tráfico y el mantenimiento de la puerta, E puede considerarse entre 0,8 y 0,85. Por último, en las instalaciones donde no existe un dispositivo de control de apertura y cierre, E tendrá un valor de 0. La carga sensible y latente de refrigeración (q), se calcula de la siguiente forma:

Ecuación 7. Carga sensible y latente de refrigeración⁴⁹ (q)

$$q = 0.221A(h_i - h_r)\rho_r \left(1 - \frac{\rho_i}{\rho_r}\right)^{0.5} (gH)^{0.5} F_m \quad [\text{kW}]$$

Donde:

q = Carga sensible y latente de refrigeración	[kW]
A = Área de la entrada	[m ²]
h_i = entalpia del aire infiltrado	[kJ/kg]
h_r = entalpia del aire refrigerado	[kJ/kg]
ρ_i = Densidad del aire infiltrado	[kg/m ³]
ρ_r = Densidad del aire refrigerado	[kg/m ³]
g = Constante gravitacional	[m/s ²]
H = Altura de la entrada	[m]
F_m = Factor de densidad	-

También, el factor de densidad (F_m) se determina mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 8. Factor de densidad⁵⁰ (F_m)

$$F_m = \left[\frac{2}{1 + \sqrt[3]{\left(\frac{\rho_r}{\rho_i}\right)}} \right]^{1.5} \quad -$$

Donde:

ρ_i = Densidad del aire infiltrado	[kg/m ³]
ρ_r = Densidad del aire refrigerado	[kg/m ³]

⁴⁷ Ibid., p. 5.

⁴⁸ Ibid., p. 5.

⁴⁹ Ibid., p. 5.

⁵⁰ Ibid., p. 5.

Para determinar la carga térmica por infiltraciones \dot{Q}_i , el factor de tiempo de apertura de entrada muestra el periodo de tiempo en el que está abierta la puerta de acceso.

Ecuación 9. Factor por tiempo de apertura de la entrada⁵¹ (D_t)

$$D_t = \frac{(P\theta_p + 60\theta_o)}{3600\theta_d} \quad -$$

Donde:

P = Numero de pasillos de entrada	-
θ_p = Tiempo de abrir/cerrar la puerta	[s/pasillo]
θ_o = tiempo de permanencia de la puerta abierta	[min]
θ_d = Periodo de tiempo diario	[h]

1.4.1.4 Carga térmica por transmisiones de paredes (\dot{Q}_k). Es la ganancia de calor que se da por la transferencia de calor a través de las paredes del ambiente interior⁵², esta cantidad depende de las dimensiones y de los materiales con que se construyeron estas superficies. La conductividad térmica de algunas superficies que delimitan el cuarto climatizado, son el aislamiento respecto a los demás ambientes interiores de la instalación, tales como paredes, pisos y techos; los valores de la conductividad térmica (k) son establecidos por el tipo de material y su espesor.

Ecuación 10. Carga térmica por transmisiones de paredes⁵³ (\dot{Q}_k)

$$\dot{Q}_k = KA\Delta T \quad [\text{kW}]$$

Donde:

K = Coeficiente global de transferencia de calor	[W/(m ² °C)]
A = Área de la superficie	[m ²]
ΔT = Diferencia de temperaturas	[°C]

Con el fin de tener una aproximación más precisa a la transferencia de calor por transmisiones de paredes, la ecuación 10, permite obtener el valor acumulado de esta cantidad a partir del cálculo de todas las paredes contenedoras del espacio climatizado. Cuando no es posible determinar con precisión el tipo de material actualmente utilizado o no se dispone de las especificaciones técnicas del diseño de la instalación que se está climatizando.

⁵¹ Ibid., p. 5.

⁵² PUERTO, Efraín A. Guía Técnica Para El Diseño De Cuartos Fríos. Op. cit. p. 6.

⁵³ MIRANDA, Ángel Luis. Técnicas De Climatización (2a. Ed.). Barcelona: Marcombo, 2008. ISBN: 978-144-920-965-0. p. 52

Ecuación 11. Coeficiente global de transferencia de calor (K)⁵⁴

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h'_r} + \frac{x}{k} + \frac{1}{h'_i}} \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{°C})]$$

Donde:

h'_r = Coeficiente de convección del aire interior	[W/(m ² °C)]
x = Espesor de pared	[m]
k = Coeficiente de conductividad térmica del material	[W/(m°°C)]
h'_i = Coeficiente de convección del aire interior	[W/(m ² °C)]

Los valores de $1/h'_r$ y $1/h'_i$ no serán considerados en el desarrollo de este proyecto, ya que no afectan significativamente la variación del coeficiente global de transferencia de calor (K) para espesores de pared (x) elevados y valores de la conductividad térmica (k) muy pequeños.

Miranda⁵⁵ precisa el valor del coeficiente global de transferencia de calor (K) para el ambiente interior que se quiere climatizar, mediante el siguiente cuadro:

Cuadro 10. Coeficiente global de transferencia de calor (K)

Referencia	K , [W/(m ² K)]
Paredes exteriores	1.5 a 1.8
Techos exteriores	1.0 a 1.2
Paredes interiores	1.9 a 2.3
Vidrio ordinario	5.8
Tabique de separación	2.3

Fuente: MIRANDA, Ángel L. Técnicas De Climatización. 2 ed. Barcelona, España: 2008. ISBN: 978-84-267-1476-3.

1.4.1.5 Carga térmica por ocupantes (\dot{Q}_o). El cuerpo humano mantiene su temperatura en 37°C, sin embargo, la actividad que cada ocupante afecta las ganancias de calor emitida al ambiente, como se expresa en la siguiente ecuación:

Ecuación 12. Carga térmica por ocupantes (\dot{Q}_o)⁵⁶

$$\dot{Q}_o = \dot{q}_p N \quad [\text{kW}]$$

Donde:

\dot{q}_p = Carga equivalente por persona	[kW]
N = Número de personas	-

⁵⁴ Ibid., p. 52.

⁵⁵ Ibid., p. 52.

⁵⁶ Ibid., p. 37.

La carga térmica equivalente por los ocupantes (q_p) descrita en el cuadro 11 tiene en cuenta el tipo de actividad que desarrollan los huéspedes de una instalación

Cuadro 11. Carga térmica equivalente por persona (\dot{q}_p)

Clase de trabajo	Actividad	Calor por unidad de tiempo [W]
Ligero	Durmiendo	73
	Sentado	116
	Sentado con movimiento	161
Moderado	Sentado con movimiento	176
	Trabajo ligero	176
Pesado	Trabajo pico y pala	513

Fuente: MIRANDA, Ángel L. Técnicas De Climatización. 2 ed. Barcelona, España: 2008. ISBN: 978-84-267-1476-3. p. 37

1.4.1.6 Carga térmica debida a fuentes lumínicas (\dot{Q}_f). Gracias a que la iluminación debe estar presente en el interior de los ambientes climatizados, es preciso calcular la generación de calor generada por las fuentes lumínicas. El factor de uso de iluminación (F_{ul}) está determinado con el tiempo en el cual estarán en uso las fuentes lumínicas en las instalaciones como oficinas, tiendas u hospitales, en los cuales se reconoce normalmente un valor de 1.0; adicionalmente, los balastos⁵⁷ representan una fuente de generación de calor considerada en el factor de tolerancia especial de iluminación (F_{sa}) por sus siglas en inglés, *special allowance* (sa), considerado con un valor de 1.3⁵⁸ para luz fluorescente instalada en el hospital, finalmente la capacidad total de iluminación (W) se determina mediante la ecuación 13, la cual se tiene en cuenta todos los valores de las fuentes de iluminación instaladas en la instalación climatizada.

Ecuación 13. Carga térmica debida a fuentes lumínicas⁵⁹ (\dot{Q}_f)

$\dot{Q}_f = W F_{ul} F_{sa}$	[kW]
Donde:	
W = Capacidad total de iluminación	[kW]
F_{ul} = Factor de uso de iluminación	-
F_{sa} = Factor de tolerancia especial de iluminación	-

⁵⁷ Ibid., p. 4.

⁵⁸ Ibid., p. 4.

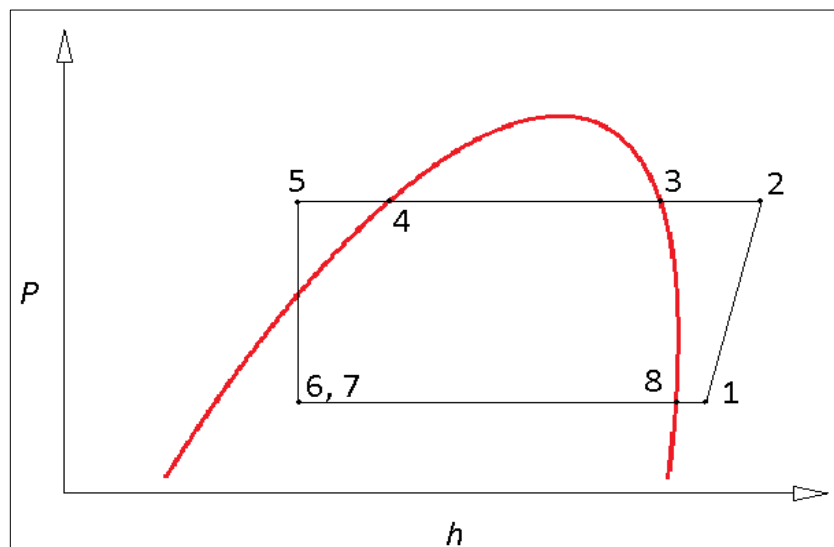
⁵⁹ ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Chapter 18 Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations. En: ASHRAE® Handbook - Fundamentals (SI Edition). Op. cit., p. 4.

Ecuación 14. Capacidad total de iluminación⁶⁰ (W)

$W = NWatts$	[W]
Donde:	
N = Numero de fuentes lumínicas	-
$Watts$ = Capacidad del tipo de fuentes lumínicas	[W]

1.4.2 Refrigeración por compresión de vapor. En este método de refrigeración, el refrigerante desempeña el papel más importante, se caracteriza por aprovechar las propiedades de temperatura (T), presión (P), la entalpía (h) y la entropía (s) de esta sustancia. El refrigerante es sometido a 4 etapas que conforman el ciclo de refrigeración por compresión de vapor, y son la compresión, la condensación, la expansión y la evaporación. La potencia térmica (calorífica y frigorífica) corresponde a “la velocidad de transferencia de calor, y se define como el calor por unidad de tiempo”⁶¹. La capacidad del equipo de refrigeración para este proceso debe ser determinada en relación con los requerimientos de diseño de la instalación, “si se examinan minuciosamente las condiciones del local y de la carga real instantánea podrá proyectarse un sistema económico de funcionamiento uniforme y exento de averías”⁶², por esta razón, la capacidad de los equipos debe ser suficiente para neutralizar las ganancias de calor generadas en el interior de las instalaciones.

Figura 7. Diagrama de Mollier conceptual



Fuente: Elaboración propia, con base en Software: Paint. V. 1803 [Figura].

⁶⁰ Ibid., p. 4.

⁶¹ GONZÁLEZ SIERRA, Carlos. Refrigeración Industrial: Montaje Y Mantenimiento De Instalaciones Frigoríficas. Barcelona: Cano Pina, 2012. ISBN: 978-841-588-408-8. p. 18.

⁶² CARRIER. Op. cit., p. 1-3.

1.4.2.1 Balance energético del compresor. En esta etapa del proceso de refrigeración, el refrigerante ingresa al sistema de compresión desde el estado 1 como vapor saturado⁶³ aumentando la temperatura y la presión mediante un proceso isentrópico es decir que la entropía en esta etapa se mantiene constante. En la etapa comprendida entre los puntos 1 y 2 (figura 8). El calor de compresión (w_{com}) y la potencia térmica del compresor (\dot{W}_{com}) se determinan por medio de la ecuación 15 y 16, respectivamente.

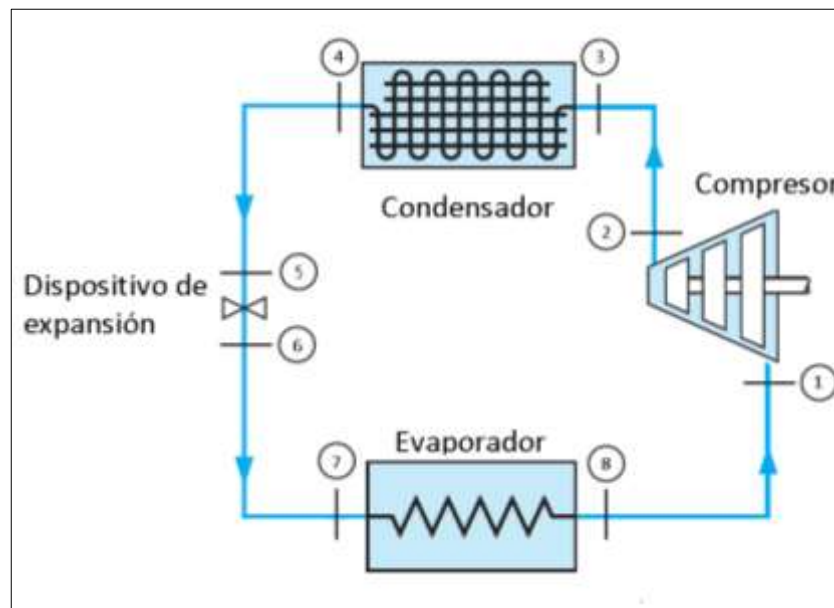
Ecuación 15. Calor de compresión⁶⁴ (w_{com})

$w_{com} = h_2 - h_1$	[kJ/kg]
-----------------------	---------

Donde:

h_1 = Entalpia de entrada al compresor	[kJ/kg]
h_2 = Entalpia de salida al compresor	[kJ/kg]

Figura 8. Diagrama de equipos del ciclo de refrigeración



Fuente: BORGNAKKE, Claus y SONNTAG, Richard Edwin. Fundamentals of Thermodynamics. 8 ed. United States: Wiley, 2013. ISBN: 978-1-118-13199-2. p. 433.

⁶³ YUNUS. Op. cit., p. 618

⁶⁴ GONZÁLEZ SIERRA. Op. cit., p. 52.

Ecuación 16. Potencia térmica del compresor⁶⁵ (\dot{W}_{com})

$$\dot{W}_{com} = \dot{m}w_{com} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad [\text{kW}]$$

Donde:

$$\dot{m} = \text{Flujo másico} \quad [\text{kg/s}]$$

$$w_{com} = \text{Calor de compresión} \quad [\text{kJ/kg}]$$

1.4.2.2 Balance energético del condensador⁶⁶. Es la etapa de intercambio de calor con el medio exterior en la cual se lleva a cabo un proceso isobárico donde la presión del sistema se mantiene constante.

En esta etapa del proceso el refrigerante pasa de la fase de vapor a líquido mientras que cede el calor al ambiente exterior⁶⁷. Compreendida entre los puntos 2 y 5 (figura 8) donde el calor de condensación (q_{con}) está definido como “la cantidad total de calor cedido por el refrigerante al medio condensante en el condensador”⁶⁸.

Ecuación 17 Calor de condensación.⁶⁹ (q_{con})

$$q_{con} = h_2 - h_5 \quad [\text{kJ/kg}]$$

Donde:

$$h_3 = \text{Entalpia de entrada al condensador} \quad [\text{kJ/kg}]$$

$$h_4 = \text{Entalpia de salida al sistema} \quad [\text{kJ/kg}]$$

Ecuación 18. Potencia térmica del condensador⁷⁰ (\dot{Q}_{con})

$$\dot{Q}_{con} = \dot{m}q_{con} = \dot{m}(h_2 - h_5) \quad [\text{kW}]$$

Donde:

$$\dot{m} = \text{Flujo másico} \quad [\text{kg/s}]$$

$$q_{con} = \text{Calor de condensación}$$

⁶⁵ MORAN, Michael J. y SHAPIRO, Howard N. Fundamentals of Engineering Thermodynamics. 5 ed. Southern Gate, Chichester: John Wiley & Sons, Inc, 2006. ISBN: 978-047-003-037-0. p. 458.

⁶⁶ GONZÁLEZ SIERRA. Op. cit., p. 53.

⁶⁷ FRANCO, Juan M. Manual De Refrigeración. Barcelona, España: Reverté S.A., 2012. ISBN: 978-84-291-9211-7. p. 2.

⁶⁸ GONZÁLEZ SIERRA. Op. cit., p. 53.

⁶⁹ Ibid., p. 53.

⁷⁰ MORAN. Op. cit., p. 458.

1.4.2.3 Proceso de expansión. Es la parte del proceso en la que el refrigerante entra en estado líquido sometido a una caída de presión y de temperatura⁷¹. Es la etapa comprendida entre los puntos 5 y 6 (figura 8), por tratarse de un proceso adiabático⁷²

1.4.2.4 Balance energético del evaporador. Es la etapa en la cual se lleva a cabo una transferencia de calor gracias a un proceso isotérmico y otro proceso isobárico, es aquí donde se absorbe el calor extraído del ambiente que se quiere climatizar⁷³. Es la etapa comprendida entre los puntos 7 y 1 (figura 8).

Ecuación 19 Efecto refrigerante.⁷⁴ (ER)

$ER = h_1 - h_7$	[kJ/kg]
------------------	---------

Donde:

h_7 = Entalpia de entrada al sistema	[kJ/kg]
--	---------

h_8 = Entalpia de salida al sistema	[kJ/kg]
---------------------------------------	---------

El Efecto refrigerante (ER) o “la cantidad de calor absorbido por el refrigerante en el evaporador”⁷⁵ también conocido como producción frigorífica⁷⁶, corresponde a la carga térmica del ambiente, es decir, es la “cantidad de calor que absorbe el refrigerante en la etapa de evaporación desde la entrada de este hasta la aspiración del compresor, es la diferencia entre estos puntos 1 y 6”⁷⁷.

La capacidad de refrigeración requerida por el sistema (\dot{Q}_{eva}) corresponde a la carga termica total de la instalación (\dot{Q}_t), por lo tanto:

Ecuación 20. Potencia térmica del evaporador⁷⁸. (P_{evap})

$\dot{Q}_{eva} = \dot{Q}_t$	[kW]
-----------------------------	------

Donde:

\dot{Q}_t = Carga térmica total	[kg/s]
-----------------------------------	--------

⁷¹ FRANCO. Op. cit. p. 2.

⁷² GONZÁLEZ SIERRA. Op. cit., p. 50.

⁷³ FRANCO. Op. cit., p. 2.

⁷⁴ GONZÁLEZ SIERRA. Op. cit., p. 51.

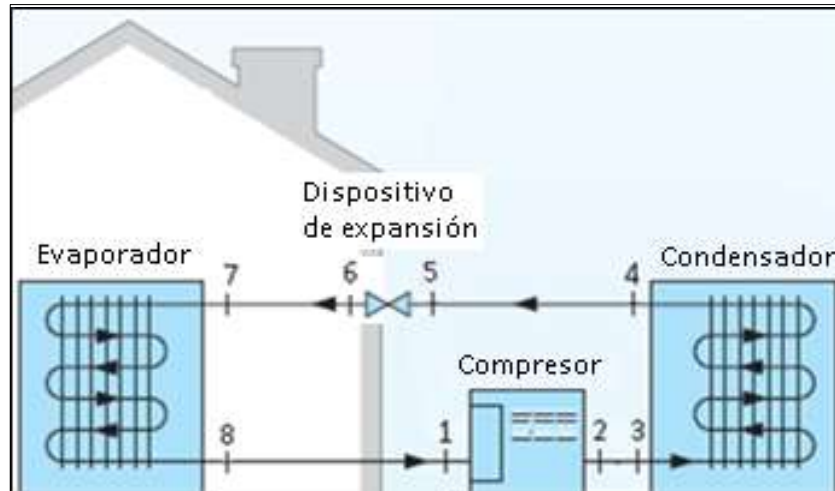
⁷⁵ GONZÁLEZ SIERRA. Op. cit., p. 51.

⁷⁶ Ibid., p. 52.

⁷⁷ ESCUDERO, Cristina y IGLESIAS, Pablo F. Máquinas Y Equipos Térmicos. Madrid, España: Parainfo S.A., 2013. ISBN: 978-84-9732-261-4. p. 128.

⁷⁸ MORAN. Op. cit., p. 457

Figura 9. Esquema conceptual del ciclo de compresión



Fuente: BORGNAKKE, Claus y SONNTAG, Richard Edwin. Fundamentals of Thermodynamics. 8 ed. United States: Wiley, 2013. ISBN: 978-1-118-13199-2. p. 239.

1.4.2.5 Características específicas de un sistema de refrigeración. El ciclo real de refrigeración por compresión de vapor compromete diferentes aspectos que difieren del ciclo ideal, entre ellos la irreversibilidad en las diferentes etapas del proceso y la transferencia de calor que sucede con el entorno, por lo que el sobrecalentamiento y el subenfriamiento representan unas etapas complementarias del ciclo, aproximándose al funcionamiento ideal.

1.4.2.6 Flujo másico (\dot{m}) del refrigerante. También denominado caudal másico del refrigerante corresponde al flujo por unidad de tiempo de esta sustancia. Esta variable depende de la cantidad de refrigerante que se suministra en el sistema de refrigeración y se calcula:

Ecuación 21. Flujo másico de refrigerante⁷⁹⁸⁰ (\dot{m})

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_{eva}}{ER} = \frac{\dot{Q}_t}{h_1 - h_7} \quad [\text{kg/s}]$$

Donde:

\dot{Q}_{eva} = Capacidad térmica del evaporador	[kW]
\dot{Q}_t = Carga térmica total	[kW]
ER = Efecto refrigerante	[kJ/kg]

⁷⁹ GONZÁLEZ SIERRA. Op. cit., p. 51.

⁸⁰ MORAN. Op. cit., p. 457.

1.4.2.7 Potencia eléctrica consumida. Los equipos de refrigeración no pueden transformar completamente la energía eléctrica que se suministra al sistema, pues este valor puede variar de acuerdo con las especificaciones del fabricante⁸¹. González⁸² afirma que las maquinas frigoríficas absorben una fracción de dicha energía eléctrica suministrada, durante el proceso. La potencia eléctrica consumida se calcula:

Ecuación 22. Consumo eléctrico de un sistema de refrigeración⁸³ (P_{elec})

$$P_{elec} = \dot{W}_{com} \quad [kW]$$

Donde:

$$\dot{W}_{com} = \text{Potencia térmica del compresor} \quad [kW]$$

1.4.2.8 Sobrecalentamiento. Ya que en la práctica es muy difícil aprovechar la energía de un ciclo de refrigeración por compresión de vapor, es necesario realizar un sobrecalentamiento en la entrada del compresor⁸⁴ es la etapa comprendida entre los puntos 8 y 1 (figura 9).

1.4.2.9 Subenfriamiento. el refrigerante se subenfria antes de que ingrese al dispositivo de estrangulamiento⁸⁵ con el fin de que aumente el rendimiento frigorífico⁸⁶. El ciclo de refrigeración por compresión de vapor corresponde a la etapa comprendida entre los puntos 4 y 5 (figura 8)

1.4.3 Eficiencia energética. Con el fin de controlar el rendimiento de los sistemas de refrigeración, como las máquinas frigoríficas, los parámetros específicos relacionados con el rendimiento de los equipos permiten el monitoreo de su funcionamiento. “Los parámetros de *COP* y *EER* son certificados por el fabricante en condiciones de plena carga, esto es, cuando la maquina suministra el 100%”⁸⁷.

⁸¹ Todoexpertos. Consumo de energía de motor trifásico. Nov 03. Disponible en: <https://www.todoexpertos.com/categorias/ciencias-e-ingenieria/ingenieria-electrica/respuestas/2240779/consumo-de-energia-de-motor-trifasico>

⁸² GONZÁLEZ SIERRA, Carlos. Refrigeración Industrial: Montaje Y Mantenimiento De Instalaciones Frigoríficas, Op. cit., p. 19.

⁸³ GONZÁLEZ SIERRA, Carlos. Refrigeración Industrial: Montaje Y Mantenimiento De Instalaciones Frigoríficas, Op. cit., p. 283.

⁸⁴ YUNUS. Op. cit., p. 622.

⁸⁵ Ibid., p. 623.

⁸⁶ FRANCO, Op. cit. p. 2.

⁸⁷ BAO RIOS, Carmela. Desarrollo De Una Herramienta De Cálculo Del Rendimiento Estacional De Bombas De Calor Según La Norma UNE-EN 14825. Trabajo En Fin De Master Universitario En Ingeniería Industrial. Barcelona, España: 2017. p. 22.

La eficiencia energética está definida por los siguientes parámetros:

- *COP*: Coeficiente de rendimiento (*Coefficient of performance*)
- *EER*: Factor de eficiencia energética (*Energy efficient ratio*)

1.4.3.1 Coeficiente de rendimiento (*COP*). Por sus siglas en inglés (*Coefficient of Performance*)⁸⁸, está definido como “la relación entre la capacidad calorífica (q_{con}) y el consumo energético equivalente a la energía suministrada al compresor (w_{com}) requerida para obtenerla”⁸⁹.

Ecuación 23. Coeficiente de rendimiento⁹⁰ (*COP*)

$$COP = \frac{q_{con}}{w_{com}} = \frac{h_2 - h_5}{h_2 - h_1} \quad -$$

1.4.3.2 Factor de eficiencia energética (*EER*). Por sus siglas en inglés (*Energy efficient ratio*)⁹¹. Se refiere a la relación entre el calor absorbido y la energía correspondiente a la suministrada al compresor, equivale a la relación entre el efecto refrigerante (*ER*) y la energía suministrada al compresor (w_{com}).

Ecuación 24. Factor de eficiencia energética⁹² (*EER*)

$$EER = \frac{ER}{w_{com}} = \frac{h_1 - h_7}{h_2 - h_1} \quad -$$

1.4.4 Eficiencia energética estacional. En la actualidad, el etiquetado europeo ha incorporado dos nuevos parámetros para comparar el rendimiento de los equipos⁹³, esto con el fin de monitorear los equipos cuando están trabajando con variaciones o fracciones de la carga máxima de los mismos.

⁸⁸ BORGNACKE, Claus y SONNTAG, Richard Edwin. *Fundamentals of Thermodynamics*. 8 ed. United States: Wiley, 2013. ISBN: 978-1-118-13199-2. p. 220

⁸⁹ MENDOZA RAMÍREZ, Antonio Jesús. *Eficiencia Energética En Las Instalaciones De Climatización En Los Edificios (UF0566)*. Málaga: IC Editorial, 2013. ISBN: 978-8-416-27144-3. p. 267.

⁹⁰ GONZÁLEZ SIERRA, Carlos. *Diseño Y Cálculo De Instalaciones De Climatización*. Barcelona: Cano Pina, 2013. ISBN: 978-8-415-88476-7. p. 313.

⁹¹ GONZÁLEZ SIERRA, Carlos. *Refrigeración Industrial: Montaje Y Mantenimiento De Instalaciones Frigoríficas*, Op. cit., p. 41.

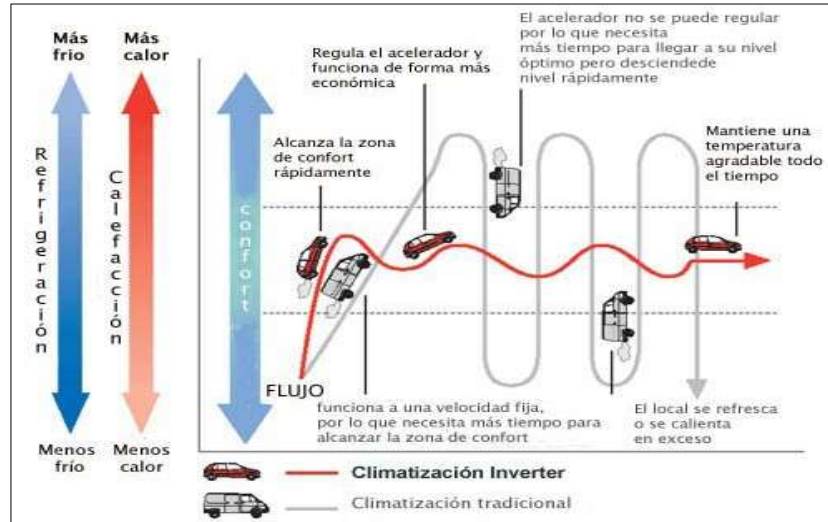
⁹² GONZÁLEZ SIERRA, Carlos. *Refrigeración Industrial: Montaje Y Mantenimiento De Instalaciones Frigoríficas*, Op. cit., p. 55.

⁹³ CHÉVEZ, Pedro. *Energías Renovables Y Eficiencia Energética: Análisis De Medidas Orientadas Al Sector Residencial*. Buenos Aires: Editorial Nobuko, 2017. ISBN: 978-1-512-95070-0. p. 69.

La figura 10 expresa el motivo por el cual los equipos funcionan a partir del sistema invertir, que les permite tener variaciones de carga reguladas por los requerimientos del ambiente que se quiera climatizar. Por estas razones los parámetros *SCOP* y *SEER* representan el rendimiento energético para estos sistemas.

j

Figura 10. Esquema conceptual de un sistema invertir



Fuente: Multiaires coolair. Tecnología Inverter ¿Qué es y cómo funciona? 2016, Disponible en: <http://multiaires.com/>

1.4.4.1 Coeficiente de rendimiento estacional (*SCOP*). Particularmente se tienen en cuenta los consumos energéticos en los periodos de tiempo transitorios, es decir, el resto de las energías consumidas (\dot{Q}') debidas a las aportaciones externas de calor adicionales.

Ecuación 25. Coeficiente de rendimiento estacional⁹⁴ (*SCOP*)

$$SCOP = \frac{\dot{Q}_{con}}{\dot{W}_{com} + \dot{Q}'}$$

Donde:

P' = Resto de energías consumidas

[kW]

⁹⁴ GONZÁLEZ, Carlos. Diseño Y Cálculo De Instalaciones De Climatización, Op. cit. 362.

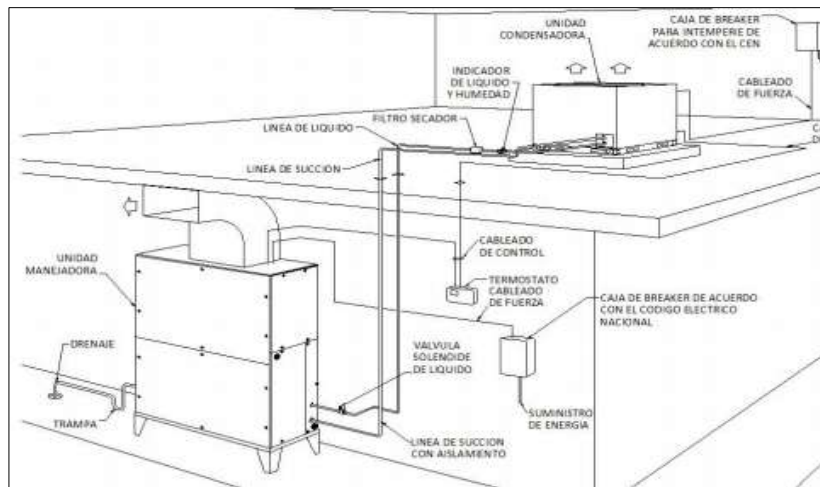
1.4.4.2 Factor de eficiencia energética estacional (*SEER*)⁸. Corresponde a la relación ente “la energía calorífica retirada y la energía eléctrica absorbida durante un periodo de tiempo determinado”⁹⁵

Ecuación 26. Factor de eficiencia energética estacional⁹⁶ (*SEER*)

$$SEER = \frac{\dot{Q}_{eva}}{\dot{W}_{com} + \dot{Q}'}$$

La figura 11, es la guía de la correcta instalación de los equipos, donde se describen las conexiones eléctricas e hidráulicas, así como la distribución de los equipos en los ambientes adecuados para su puesta en marcha.

Figura 11. Diagrama de instalación típica de equipos



Fuente: TECAM S.A. SISTEMAS DIVIDIDOS. Unidades Condensadoras Y Unidades Manejadoras. 4 ed. [Catalogo] 2017. p. 8.

1.4.5 Maquinas frigoríficas. Son equipos de refrigeración que permiten cambiar la temperatura del aire a través de procesos cíclicos. También se conocen como bombas de calor con la particularidad de que su proceso difiere por los requerimientos del espacio interior que se quiera climatizar.

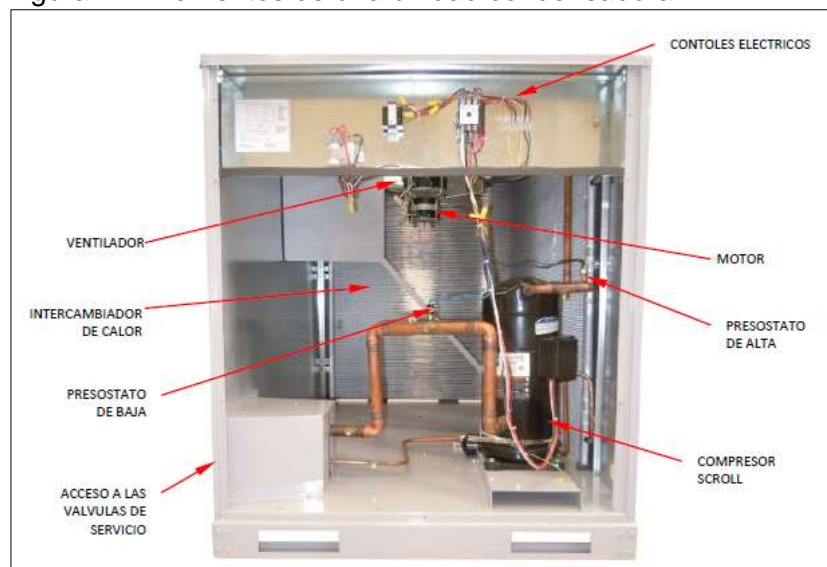
⁹⁵ Ibid., p. 359.

⁹⁶ Ibid., p. 360.

Un equipo de refrigeración busca que el ambiente interior esté a baja temperatura mediante la extracción del calor de este, mientras que un equipo de calefacción o una bomba de calor busca aumentar la temperatura a través de la absorción de calor de un medio de baja temperatura, normalmente desde el ambiente exterior⁹⁷. Los equipos para aire acondicionado y refrigeración son un conjunto de componentes, máquinas y accesorios que permiten el proceso de climatización.

1.4.5.1 Unidad condensadora. Corresponde a la maquina frigorífica encargada de realizar las etapas de la compresión y la condensación en el refrigerante, de acuerdo con el ciclo de refrigeración por compresión⁹⁸ de vapor. Comúnmente está ubicada en la cubierta o techo de las instalaciones climatizadas.

Figura 12. Elementos de una unidad condensadora



Fuente: TECAM S.A. SISTEMAS DIVIDIDOS. Unidades Condensadoras Y Unidades Manejadoras. 4 ed. [Catalogo] 2017. p. 4.

⁹⁷ YUNUS. Op. cit., p. 289.

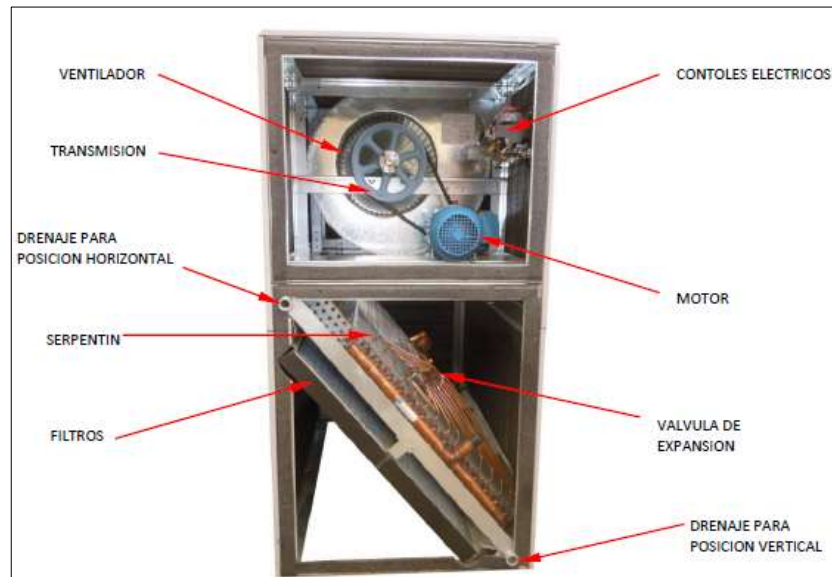
⁹⁸ Unidad Condensadora, Equipos de entrega inmediata. Unidad condensadora. Disponible en: <https://unidadcondensadora.com/>

La Unidad condensadora está compuesta por los siguientes elementos principales:

- Compresor
- Serpentín condensador
- Ventilador axial
- Gabinete
- Presostato para alta y baja presión
- Válvulas de servicio
- Resistencia de Carter en el compresor
- Filtro secador
- Transformador

1.4.5.2 Unidad manejadora. La norma técnica española UNE 100713 la denomina también como Unidad de tratamiento de aire⁹⁹ (UTA), es el equipo encargado de adecuar las condiciones de temperatura (T), humedad relativa (HR) y pureza del aire de acuerdo con los requerimientos del ambiente interior de las instalaciones climatizadas.

Figura 13. Elementos de una unidad manejadora



Fuente: TECAM S.A. SISTEMAS DIVIDIDOS. Unidades Condensadoras Y Unidades Manejadoras. 4 ed. [Catalogo] 2017. p. 6.

⁹⁹ . ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, (AENOR). UNE 100713. Op cit., p. 14.

La unidad Manejadora de aire está constituida por los siguientes elementos:

- Ventilador
- Sistema de transmisión
- Motor
- Serpentín evaporador
- Válvula de expansión
- Filtros
- Gabinete
- Contactor
- Relé térmico

Entre las máquinas frigoríficas, las más destacadas y utilizadas, son los chiller y los fan-coil (FCU) por sus siglas en inglés (*Fan Coil Unit*); en las instalaciones de salud, estos equipos representan un riesgo al tener un reservorio ideal para el crecimiento de microorganismos. Comúnmente se sabe que la bandeja de condensado de estos equipos es el lugar que retiene el agua residual debida al proceso de refrigeración¹⁰⁰.

1.4.6 Filtros. Existen varios tipos de filtros de acuerdo con el nivel de concentración de partículas requerido al interior de una instalación; mencionados a continuación:

1.4.6.1 Minimum Efficiency Reporting Value Filter¹⁰¹ (MERV). corresponden a la clasificación de los filtros con un rango de filtración de un 30% de purificación del aire, es decir que no existe una alta exigencia en la purificación del aire.

1.4.6.2 High Efficiency Particulate Air Filter¹⁰² (HEPA). se refiere a los filtros cuyos valores de concentración de partículas filtrados son mayores al 99.97% con tamaños de partícula menores a 0.30 micrones.

¹⁰⁰ KOENIGSHOFER, Op. cit., p. 160.

¹⁰¹ Ibid. p. 89

¹⁰² Ibid. p. 9.

1.5 MANEJO DE PROCESOS

Es preciso resaltar algunos de los procesos complementarios que se llevan a cabo en las instalaciones prestadoras del servicio de salud. Estos procesos son implementados con el fin de abastecer de insumos hospitalarios a las diferentes áreas de especialidad de las instalaciones.

1.5.1 Cadena de frío de las vacunas. Vacunas son “las sustancias biológicas altamente sensibles, cuyas condiciones y efectividad se desvirtúan con el tiempo y de manera especial son afectadas por exposición al calor (en algunos casos, a bajas temperaturas), a la luz del sol, a las luces fluorescentes”¹⁰³¹⁰⁴.

En el almacenaje de vacunas a nivel industrial se puede encontrar gran variedad de equipos de la conservación de estos productos, gracias a la demanda e importancia de las vacunas, los *Product Information Sheets*¹⁰⁵ (PIS) estipulan los siguientes requerimientos que deben ser monitoreados y supervisados para su correcta utilización:

- Comprobar diariamente el estado de los insumos a través de la identificación de los picos y caídas de temperatura en cada turno de trabajo.
- Revisar la tarjeta de temperatura justo en el momento de la recepción de las vacunas, ya que es allí donde se indican las temperaturas adecuadas y requeridas para su almacenamiento.
- Supervisar el almacenamiento de las vacunas, su fecha de caducidad y la disponibilidad de estas como medida preventiva ante cualquier novedad o emergencia.
- Revisar el congelador de almacenamiento ya que el espesor de la capa de hielo no debe superar los 5mm¹⁰⁶.

El Programa Ampliado de Inmunizaciones (PAI) propone unas modificaciones a la Resolución 412/00 para disminuir el nivel de riesgo por un mal manejo del almacenamiento de vacunas, a través de la estandarización de la construcción y las características físicas y de mantenimiento.

¹⁰³. Asociación Colombiana De Acondicionamiento Del Aire Y De La Refrigeración (ACAIRE). La cadena de frío de las vacunas. En: Revista de Tecnología del aire 2008. p. 20.

¹⁰⁴ Ibid., p. 21.

¹⁰⁵ Ibid., p. 22.

¹⁰⁶ Ibid., p. 22.

1.5.2 La cadena de frío en el trasplante de órganos. El trasplante de órganos, procedimiento quirúrgico mediante el cual se hace la transferencia de un órgano funcional del cuerpo humano entre un donante y un receptor¹⁰⁷. Incluye importantes requerimientos para llegar a resultados efectivos y mitigar problemas de coagulación y de obsolescencia médica por malas técnicas de refrigeración.

Actualmente el procedimiento implementado para el trasplante de órganos consiste en limpiar antes de llevar a cabo el proceso de enfriamiento,

1.5.3 Cadena de frío en la ciencia forense¹⁰⁸. En estos procedimientos, se mantienen temperaturas hasta de -18°C y -20°C con el objetivo de contrarrestar la generación de condiciones ambientales ideales para el crecimiento bacteriano en las evidencias que se quieren conservar, también se alcanzan valores de temperatura -70°C en situaciones donde se requiere inhibir el crecimiento de hongos en las muestras.

1.5.4 Conservación de cadáveres. Este procedimiento contiene al conjunto de actividades necesarias para la utilización del frío para garantizar un medio ideal para inhibir la degradación de la materia orgánica o putrefacción, etapas que suceden justo cuando se detienen las funciones vitales¹⁰⁹.

La problemática principal radica en la necesidad de identificar cadáveres después de algún acontecimiento especial, por lo tanto, el tiempo de degradación debe ser lo más prolongado posible con el fin de disponer de las evidencias para su evaluación y análisis.

1.5.5 Evidencias forenses: son los objetos que brindan información para describir las causas de la muerte o las lesiones de una persona; por esta razón, su conservación se efectúa en los cuartos de almacenamiento de evidencias, diseñados para proteger tanto las muestras secas como las líquidas, de manera que la refrigeración es un proceso que brinda el cuidado de estas por medio del control de la temperatura¹¹⁰.

¹⁰⁷ Asociación Colombiana De Acondicionamiento Del Aire Y De La Refrigeración (ACAIRE). Organos vivos en la cadena de frío. En: Revista Entrevista ACAIRE. 2009. p. 12

¹⁰⁸ Asociación Colombiana De Acondicionamiento Del Aire Y De La Refrigeración (ACAIRE). La cadena de frío en la ciencia forense. En: Revista de Nuevos vientos. 2009. p. 15

¹⁰⁹ Ibid., p. 15

¹¹⁰ Ibid., p. 16

1.6 NORMATIVA

Las especificaciones de las salas limpias están estipuladas gracias al estudio realizado por varias asociaciones nacionales e internacionales de normalización y certificación, normativas que tratan los aspectos de clasificación, certificación, diseño y métodos de ensayo para que las salas limpias cumplan con los requerimientos de asepsia y que se puedan desarrollar los procesos y actividades específicas, sin involucrar gastos ni compromisos económicos adicionales.

1.6.1 Dirección seccional de salud. Las IPS en Colombia, cumplen con las exigencias de cada dirección seccional de salud. En la ciudad de Manizales, La Territorial de salud de Caldas es la dirección encargada de vigilar y controlar el cumplimiento de las políticas y normativas técnicas, científicas y administrativas emitidas por el ministerio de salud¹¹¹.

1.6.2 Resolución 4445 de 1996 del Ministerio de Salud. Establece las condiciones sanitarias de los establecimientos hospitalarios y otros establecimientos prestadores del servicio de salud.

Estipula que “en las edificaciones, donde. a la fecha de la expedición de la presente resolución funcionen las instituciones prestadoras de servicios de salud y los prestadores de servicios de salud, deberán adecuarse a las disposiciones aquí contenidas de acuerdo con el plan de cumplimiento que se establezca de común acuerdo con la Dirección Seccional”¹¹²

1.6.3 Resolución 2003 de 2014 del Ministerio de salud. Es la normativa nacional que determina los procedimientos y aspectos relacionados con la inscripción de las IPS, es decir, es por la que “se definen los procedimientos y condiciones de inscripción de los Prestadores de Servicio de Salud y de habilitación de servicios de salud”¹¹³

¹¹¹ Dirección Territorial de Salud de Caldas. FUNCIONES DE LA TERRITORIAL DE SALUD DE CALDAS | Territorial. Disponible en: <http://saluddecaldas.gov.co/funciones-de-la-territorial-de-salud-de-caldas/>

¹¹² COLOMBIA, MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 4445. Diciembre 26. Bogotá D.C., 1996. p. 1.

¹¹³ COLOMBIA, MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 2003. Mayo 28, 2014. p. 1.

1.6.4 UNE 100713 de 2005. Esta versión reemplaza la norma UNE 100713 del 2003¹¹⁴, y tiene por objeto especificar “los requisitos que deben cumplir las instalaciones de acondicionamiento de aire en hospitales u otros edificios con actividades similares.”¹¹⁵

1.6.5 ISO 14644:2016. Corresponde a la normativa técnica que surgió por la necesidad de establecer los estándares y requerimientos específicos de las salas limpias¹¹⁶. La norma ISO 14644 determina:

- ISO 14644-1: 2015. Salas limpias y ambientes controlados asociados. Parte 1: Clasificación de la limpieza del aire por concentración de partículas.
- ISO 14644-2: 2015. Monitoreo para proporcionar evidencia del rendimiento de la sala limpia relacionada con la limpieza del aire por concentración de partículas
- ISO 14644-3: 2005. Métodos de prueba.
- ISO 14644-4: 2001. Diseño, construcción y puesta en marcha.
- ISO 14644-5: 2004. Operaciones.

1.6.6 UNE 171340:2011. Se refiere a la “validación y cualificación de salas de ambiente controlado en hospitales”¹¹⁷, ya que especifica la definición de las salas de ambiente controlado y su clasificación; considerando las actividades y procesos médicos realizados en las áreas internas de los hospitales, determinando los niveles de limpieza para cada uno; también, especifica los responsables del control de sanidad de los ambientes internos, de acuerdo con el tipo de su actividad.

1.6.6.1 UNE-EN 12464-1. esta norma determina todo lo relativo a la iluminación¹¹⁸ en las construcciones y edificaciones de manera en la que, se identificaron los rangos de iluminación requeridos en las salas de cirugía. estos parámetros son:

- Iluminación mantenida (\bar{E}_m)
- Deslumbramiento unificado (UGR_L)
- Rendimiento de color (R_a)

¹¹⁴ ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, (AENOR). UNE 100713. Op cit., p. 1.

¹¹⁵ Ibid., p. 4.

¹¹⁶ ICONTEC. NTC-ISO 14644-1. Op cit., p. 1.

¹¹⁷ Asociación Española de Normalización y Certificación, (AENOR). UNE 171340. Op cit., p. 5.

¹¹⁸ ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, (AENOR). UNE-EN 12464-1. Iluminación De Los Lugares De Trabajo. Parte 1: Lugares De Trabajo En Interiores. 2011. p. 34.

1.6.6.2 ASHRAE. La sociedad americana de ingenieros de calefacción, refrigeración y aire acondicionado ha establecido diferentes normas y especificaciones técnicas para el correcto manejo del aire en las instalaciones. En este proyecto, los documentos técnicos con los que se fundamenta la realización de la evaluación técnica son los siguientes:

- ASHRAE, standard 170
- ASHRAE, standard 52.2
- ASHRAE, HVAC design manual for hospitals and clinics
- ASHRAE, handbook fundamentals
- ASHRAE, handbook refrigeration

En el siguiente cuadro, se clasificaron y describieron las normas vigentes a nivel nacional, Europa y América del norte.

Cuadro 12. Normativa vigente del proceso de climatización en salas limpias

	Norma	Descripción
Nacional	Dirección seccional de salud	Validación y certificación de instalaciones de salud
	Res. 4445 de 1996 del Min. de salud	Cumplimiento de condiciones sanitarias de las instalaciones de salud
	Res. 2003 de 2014 del Min. de salud	Procedimientos y condiciones para la inscripción de las instalaciones de salud
Europea	UNE 100713 de 2005	Requisitos y especificaciones técnicas
	ISO 14644 de 2016	Clasificación, diseño y control de salas limpias
	UNE 171340 de 2011	Control, criterios y métodos de ensayo para la validación de salas limpias
	UNE-EN 12464-1 de 2003	Iluminación de los lugares de trabajo
Americana	ASHRAE, standard 52.2	Métodos de ensayo y validación de filtros
	ASHRAE, standard 170	Ventilación en instalaciones de salud
	ASHRAE, HVAC design manual. Hospitals and clinics	Estándares y especificaciones técnicas para el diseño de instalaciones de salud
	ASHRAE, handbook	Fundamentals: Información técnica para el diseño de sistemas HVAC.
		Refrigeration: Información técnica de equipos y sistemas en la refrigeración
Office-Based Surgery Guidelines	Clasificación de instalaciones de salud	

Fuente: Elaboración propia.

2. PROCESO DE EVALUACION

El hospital seleccionado permitió conocer los requerimientos de la calidad ambiental del aire en su interior, así como el diseño de las instalaciones interiores; se identificaron aspectos de sanidad, bioseguridad y control de la climatización.

2.1 INSTRUMENTOS DE MEDICION

Durante el desarrollo de las visitas técnicas se requirieron equipos e instrumentos de medición para registrar las variables de temperatura, humedad relativa y el volumen de los recintos evaluados en la instalación.

2.1.1 Penta III. este dispositivo digital permite la medición y el monitoreo de temperatura de 5 puntos diferentes. Se puede utilizar también en los sistemas de aire acondicionado, congeladores, industria automotriz, entre otras aplicaciones¹¹⁹. El cuadro 13 describe los parámetros de operación del dispositivo.

Cuadro 13. Parametros de instrumento de medida, Penta III

Parámetro	Valor	Unidad
Marca	Full Gauge controls	-
Modelo	PENTA3V1-02T-10635	-
Alimentación	9	V
Rango de medida	-50.0 a 105.0	°C
Resolución	0.1 de -50.0 a 105.0	°C
Precisión	±0.3	% f.e.
Numero de sensores	5	-
Cable de los sensores	1x26	AWG

Fuente: Full Gauge controls. User Guide Penta III. [Catalogo]. Brazil. p. 1.

La siguiente figura muestra el equipo de medición utilizado.

Figura 14. Termómetro digital, Penta III



Fuente: Full Gauge controls. User Guide Penta III. Brazil. [Catalogo]. p. 1.

¹¹⁹ Full Gauge controls. User Guide Penta III. [Catalogo]. Brazil. p. 1.

2.1.2 Datalogger RHT10. Para evaluar el ambiente interior, se midieron la temperatura y la humedad relativa mediante el instrumento de medida *Humidity and Temperature Datalogger RHT10*¹²⁰ y se instaló el software para la descarga de los datos medidos y poder graficarlos. El cuadro 14 contiene los parámetros de operación del instrumento.

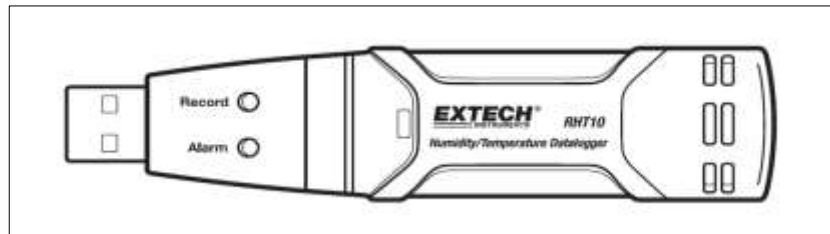
Cuadro 14. Parametros de instrumento de medida, Datalogger RHT10

Parámetro	Valor	Unidad
Marca	Extech Instruments	-
Modelo	RHT10	-
Alimentación	3.6	V-
Capacidad de memoria	16,000	Datos
Temperatura de operación	-35 a 80	°C
Rango de medida (Temperatura)	-40 a 70	°C
Rango de medida (Humedad Relativa)	0 a 100	%-
Precisión (<i>T</i> entre 10 a 40°C)	±1.0	°C
Precisión (<i>HR</i> entre 40 a 60%)	±3.0	%
Software	RHT10 Graph V5.6.1. 2016	

Fuente: Flir systems Inc. User Guide Humidity / Temperature Datalogger RHT10. [Catalogo]. Nashua, USA: 2014. p. 1.

La siguiente figura muestra el instrumento de medida utilizado.

Figura 15. Temperatura y Humedad Relativa Datalogger



Fuente: Flir systems Inc. User Guide Humidity / Temperature Datalogger RHT10. [Catalogo]. Nashua, USA: 2014. p. 1.

El instrumento de medida utilizado, para registrar las dimensiones del interior corresponde a un distanciómetro digital, suministrado por la central de mantenimiento durante la visita técnica realizada.

¹²⁰ Flir systems Inc. User Guide Humidity / Temperature Datalogger RHT10. [Catalogo]. Nashua, USA: 2014. p. 1.

2.2 SOFTWARE UTILIZADO

Gracias a las herramientas informáticas utilizadas, se pudieron obtener datos más precisos en el desarrollo de los cálculos, por esta razón, en esta sección se pretende mostrar cuales fueron estas herramientas, para que estas puedan ajustarse a la evaluación técnica en diferentes instalaciones de salud en Colombia.

2.2.1 SICRO v.2.1.2. Permite obtener los datos de las propiedades del aire húmedo gracias al uso de la carta psicrométrica, estas propiedades son determinadas en función de la altitud de la instalación evaluada mediante las ecuaciones termodinámicas de la ASHRAE.

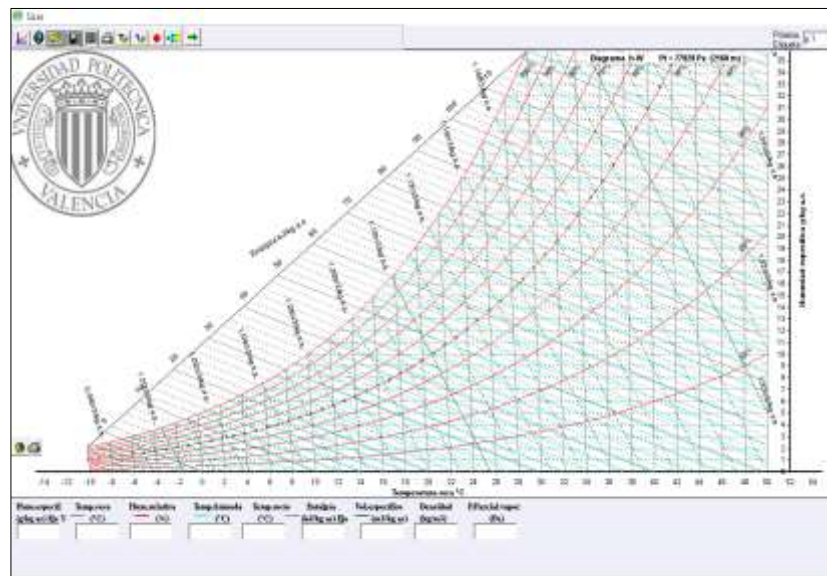
Cuadro 15. Características del software SICRO

Ítem	Descripción
Versión	2.1.2
Fecha	Marzo 2017
Desarrollador	Dpto. de termodinámica Universidad Politécnica de Valencia

Fuente: Elaboración propia

La siguiente figura describe gráficamente la interfaz de usuario para la aplicación de escritorio del software SICRO.

Figura 16. Interfaz del software SICRO



Fuente: Elaboración propia

2.2.2 Coolpack V.1.50. Mediante el módulo de *refrigeration utilities* es posible acceder a la información característica de los diagramas de mollier para las diferentes denominaciones de refrigerantes. el siguiente cuadro contiene las características del software.

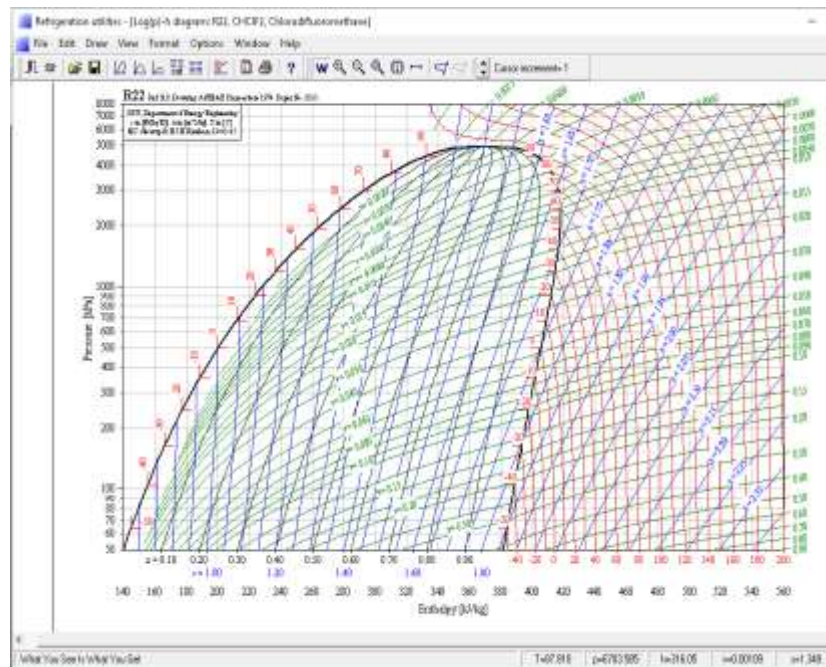
Cuadro 16. Características del software Coolpack

Ítem	Descripción
Versión	1.50
Fecha	2012
Modulo	Refrigeration Utilities
Desarrollador	IPU & Department of Mechanical Engineering Technical University of Denmark

Fuente: Elaboración propia

La siguiente figura representa la interfaz de usuario del software en el módulo de *refrigeration utilities*, donde se graficaron los datos obtenidos del ciclo de refrigeración por compresión de vapor para cada equipo durante la visita técnica.

Figura 17. Interfaz del software Coolpack refrigeration utilities



Fuente: Elaboración propia

2.3 SELECCIÓN DE EQUIPOS DE CLIMATIZACIÓN

El estudio realizado en este proyecto consiste en un sistema de climatización a través un sistema de refrigeración por compresión de vapor, evaluando técnicamente la Unidad Condensadora por aire, y la Unidad Manejadora de aire.

El hospital se compone de diferentes áreas de especialidad en las que se prestan diversos servicios de salud, en los cuales los requerimientos de limpieza y asepsia tanto del ambiente interior como del aire suministrado por los equipos son diferentes de acuerdo con las exigencias de cada proceso hospitalario. Para la selección de las cuatro salas limpias con mayores exigencias sanitarias. se utilizó el siguiente método.

2.3.1 Método de Scoring. La ecuación 26, corresponde a la metodología de Scoring, que incluye las diferentes alternativas de selección, en este caso las diferentes áreas de especialidad médica corresponden a estas alternativas de selección. La elección se plantea mediante la determinación de los criterios técnicos de selección de equipos, así:

Ecuación 27. Cálculo del puntaje alternativa j^{121} (S_j)

$$S_j = \sum_i W_i r_{ij} \quad [-]$$

Donde:

W_i = Ponderación para cada criterio [-]

r_{ij} = Rating de la alternativa j en función del criterio i [-]

El valor de la ponderación aplica para la calificación de las alternativas y el valor de los criterios técnicos de selección de equipos. En el cuadro 17 se determinaron los valores de ponderación

Cuadro 17. Ponderación de criterios y alternativas de selección

Descripción	Valor
Muy poco importante	1
Poco importante	2
Importancia media	3
Algo importante	4
Muy importante	5

Fuente: Elaboración propia.

¹²¹ ROJAS TREJOS, Carlos Alberto. Problema De Decisión Multicriterio. [Diapositivas] 2016. p. 32.

Las alternativas de selección (*j*) de los equipos de cada área de especialidad en el hospital, fueron caracterizadas de acuerdo con la marca, el tipo y la capacidad de cada equipo, como se ve en el siguiente cuadro:

Cuadro 18. Alternativas de medición (*j*)

	Alternativa <i>j</i>	Marca	Tipo	Cap.	Unidad
A ₁	Ecografía	-	Mini Split	1200	CFM
A ₂	Esterilización	TECAM	Inyección	2500	CFM
A ₃	Ginecobstetricia	TECAM	Central	5	TRF
A ₄	Imágenes diagnosticas	TECAM	Central	5	TRF
A ₅	Laboratorio	CARRIER	Central	8	TRF
A ₆	Medicina nuclear	TOTAL, LINE	Mini Split	1200	BTU/h
A ₇	Metrología	-	Mini Split	1200	CFM
A ₈	Neonatología	TECAM	Central	5	TRF
A ₉	Quirófano	TECAM	Central	8	TRF
A ₁₀	UCI	TECAM	Central	8	TRF

Fuente: Elaboración propia, con base en hoja de vida de equipos suministradas por el hospital seleccionado.

Posteriormente, se especificaron los criterios técnicos de selección de equipos.

- **Criticidad del ambiente:** se refiere a las exigencias del ambiente interior; se consideró el nivel de requerimientos de asepsia en el diseño de las salas limpias y en el proceso de climatización.
- **Criticidad del equipo:** corresponde a los niveles de exigencias técnicas que deben tener los equipos de climatización, es decir, el nivel de purificación del aire, los valores de temperatura y niveles humedad relativa suministrados por cada equipo.
- **Desarrollo de la medición:** Corresponde al nivel de disponibilidad para el reconocimiento en campo y la disponibilidad de las áreas de especialidad para permitir el ingreso y ejecutar la evaluación.
- **Disponibilidad del equipo:** El periodo de tiempo en el cual los equipos se encuentran en funcionamiento, se pueden hacer las mediciones pertinentes.
- **Variación de la capacidad del equipo:** consiste en la ponderación de un ambiente cuyo equipo de climatización tiene la misma capacidad o sus especificaciones técnicas son similares en relación con las de otro equipo; donde 1 será un equipo con especificaciones técnicas iguales a otro, y 5 para un equipo diferente.

Cuadro 19. Ponderación de criterios de selección equipos (W_i)

Criterio		W_i
B ₁	Criticidad del ambiente	5
B ₂	Criticidad del equipo	5
B ₃	Desarrollo de la medición	4
B ₄	Disponibilidad del equipo	3
B ₅	Variación de la capacidad	2

Fuente: Elaboración propia

Por último, la matriz de selección de equipos se desarrolló de acuerdo con los lineamientos que se indican en el método de Scoring.

Tabla 1. Matriz de selección de equipos

Área de especialidad	j		B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	S_j
Ecografía	A ₁	r_1	2	2	1	5	2	-
		$W_i r_1$	10	10	4	15	4	43
Esterilización	A ₂	r_2	4	1	1	1	2	-
		$W_i r_2$	20	5	4	3	4	36
Ginecobstetricia	A ₃	r_3	4	2	1	5	5	-
		$W_i r_3$	20	10	4	15	10	59
Imágenes diagnosticas	A ₄	r_4	4	4	5	5	2	-
		$W_i r_4$	20	20	20	15	4	79
Laboratorio	A ₅	r_5	3	4	5	5	2	-
		$W_i r_5$	15	20	20	15	4	74
Medicina nuclear	A ₆	r_6	3	2	1	5	2	-
		$W_i r_6$	15	10	4	15	4	48
Metrología	A ₇	r_7	1	2	1	5	2	-
		$W_i r_7$	5	10	4	15	4	38
Neonatos	A ₈	r_8	4	4	5	5	2	-
		$W_i r_8$	20	20	20	15	4	79
Salas de cirugía	A ₉	r_9	5	4	5	5	2	-
		$W_i r_9$	25	20	20	15	4	84
UCI	A ₁₀	r_{10}	5	5	2	1	2	-
		$W_i r_{10}$	25	25	8	3	4	65

Fuente: Elaboración propia

La selección de equipos arrojó que las áreas de especialidad por evaluar fueron las salas de cirugía, la unidad de neonatología, la unidad de cuidados intensivos y la unidad de imágenes diagnosticas.

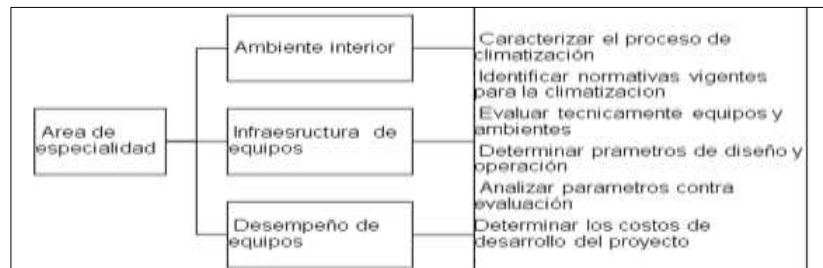
2.4 METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN

La metodología de la evaluación técnica consistió en el análisis de los objetivos específicos de acuerdo con los siguientes parámetros de evaluación:

- Evaluación técnica del ambiente interior
- Evaluación técnica de desempeño de equipos
- Evaluación técnica de infraestructura equipos

La gráfica 1 especifica la relación entre los parámetros de evaluación y los objetivos específicos para realizar la evaluación técnica del proceso de climatización de las salas limpias de cada área de especialidad seleccionada.

Gráfica 1. Desarrollo de los objetivos en la evaluación técnica



Fuente: Elaboración propia

A partir de la metodología mencionada se pudo ejecutar la evaluación mediante la identificación del cumplimiento de las instalaciones en cada área de especialidad en el hospital seleccionado, de igual forma, se evaluaron los equipos y su desempeño, de acuerdo con los parámetros estipulados en normativas y catálogos.

Ecuación 28. Porcentaje de cumplimiento (% C)

$$\%C = \frac{V_R}{V_I} * 100 \quad [\%]$$

Donde:

V_R = Valor real
 V_I = Valor ideal

-
-

La calificación del cumplimiento se estableció de acuerdo con el porcentaje de cumplimiento (% C) según los siguientes criterios:

- Optimo
- Condición
- Deficiente
- No cumple

En la calificación de cumplimiento se aplicaron todos los criterios de evaluación, es decir, se evaluó el cumplimiento general del proceso de climatización en las salas limpias seleccionadas.

Cuadro 20. Criterios de calificación del nivel de cumplimiento

Cumplimiento	Rango
Optimo	95.0% a 100.0%
Condición	75.0% a 94.9%
Deficiente	50.0% a 74.9%
No cumple	0.0% a 49.9%

Fuente: Elaboración propia, con base en información suministrada por ACAIRE.

Por último, en la evaluación de infraestructura de equipos, se implementó un formato de análisis de falla de equipos. Durante la visita técnica, identificaron los equipos en mal estado o que necesitan atención de la central de mantenimiento. La siguiente figura especifica el formato de análisis de falla diseñado

Figura 18. Estructura de formato de análisis de falla equipos

Equipo	Parte	Síntoma	Causa	Descripción
Nombre equipo	Parte u objeto	Descripción síntoma	Descripción causa	Observaciones, recomendaciones o acciones correctivas

Fuente: Elaboración propia

Fuente: Elaboración propia

Por último, se elaboró la matriz de cumplimiento con el fin de calificar el porcentaje de cumplimiento en esta matriz se basa en las siguientes condiciones evaluadas durante la visita técnica:

- Condiciones de ambiente instalado: Adecuada ubicación e instalación de equipos
- Condiciones de accesibilidad: Correctas medidas de ingreso del personal
- Condiciones de estado del equipo: Mantenimiento y limpieza de equipos

La siguiente figura (siguiente página) muestra la matriz de cumplimiento desarrollada para la evaluación de la infraestructura de equipos. Ésta se aplicó en todas las áreas de especialidad médica seleccionadas.

Figura 19. Matriz de cumplimiento infraestructura equipos

		Ambiente	Acceso	Estado
Equipo	Compresor	(Cumple / No cumple)	(Cumple / No cumple)	(Cumple / No cumple)
	Condensador	(Cumple / No cumple)	(Cumple / No cumple)	(Cumple / No cumple)
	Expansión	(Cumple / No cumple)	(Cumple / No cumple)	(Cumple / No cumple)
	Evaporador	(Cumple / No cumple)	(Cumple / No cumple)	(Cumple / No cumple)
Cumplimiento:			%	

Fuente: Elaboración propia

Fuente: Elaboración propia

2.5 METODOLOGÍA DE CALCULO

El siguiente apartado tiene por objeto explicar los cálculos realizados durante la evaluación técnica estipulada en este proyecto.

Figura 20. Estructura de ecuaciones del proyecto

Ecuación		[Unidad]
Donde:		
Variable 1 = Descripción		[Unidad]
Variable 2 = Descripción		

Fuente: Elaboración propia

La metodología de cálculo fue aplicada en la evaluación técnica de desempeño de equipos, se utilizaron las ecuaciones referenciadas en el apartado 1, se relacionaron con las generalidades del proceso de climatización, adicionalmente, mediante el uso adecuado de tablas, se hallaron los valores correspondientes a cada una de las variables que conforman las ecuaciones, por último, las tablas también muestran el resultado obtenido después de sustituir las variables mencionadas y hallar los valores requeridos.

En las figuras 20 y 21 se ven los contenedores numéricos utilizados para las estructuras de ecuaciones y tablas.

Figura 21. Estructura de las tablas del proyecto

Variable	Descripción	Valor	Unidad
Variable 1	Descripción	Cantidad	Unidad
Variable 1	Descripción	Cantidad	Unidad
V. Calculada	Descripción	Cantidad	Unidad

Fuente: Elaboración propia

Fuente: Elaboración propia

3. QUIROFANO

En esta sección se hizo la evaluación técnica de la climatización de las salas de cirugía, para eso se implementaron las metodologías de evaluación adecuadas para comparar los resultados contra la normativa y parámetros de diseño técnicos.

3.1 EVALUACIÓN TÉCNICA DEL AMBIENTE INTERIOR

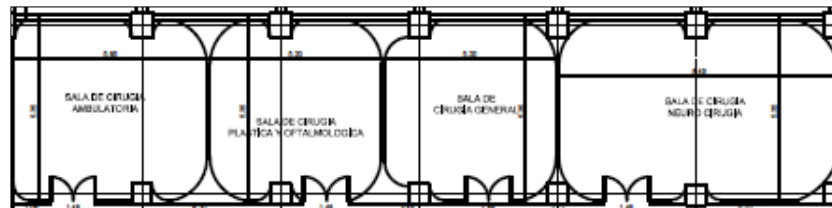
Los quirófanos corresponden a las salas de los hospitales, clínicas e instalaciones de salud que deben estar diseñadas para la realización de operaciones quirúrgicas. En este apartado se evaluó el ambiente interior.

3.1.1 Estado actual de las salas de cirugía. Como se mencionó en el apartado 1.3.4.7, el tipo de sala (A, B o C)¹²², está determinado por la severidad de las intervenciones quirúrgicas en relación con la capacidad de los servicios hospitalarios prestados, dicho esto, las actividades más críticas que se efectúan son:

- Recepción de tumor cerebral
- Reemplazos de caderas, hombros
- Cirugía oftalmológica
- Cirugía abdominal de alta complejidad

Por tratarse de unas actividades con exigencias de sanidad elevadas, la clase del local del quirófano es nivel I, (clase A)¹²³, por esta razón, debe ser una instalación cuyo sistema de filtración debe estar adecuado con 3 niveles, donde la primera etapa debe contar con un filtro de clase F5, ubicado en la toma de aire exterior de la UMA; la segunda etapa de filtración debe ser un filtro F9, ubicado después de la UMA y al comienzo del conducto de impulsión de aire; la tercera etapa de filtración debe contar con un filtro clase H13, ubicado en la unidad terminal del conducto¹²⁴.

Figura 22. Distribución de los quirófanos en el hospital



Fuente: Información suministrada por el Hospital

¹²² ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, (AENOR). UNE 100713.

Op cit., p. 5.

¹²³ Ibid., p. 5.

¹²⁴ Ibid., p. 6.

La resolución 2003 del Ministerio de Salud, define esta área como el “servicio destinado a la realización de procedimientos e intervenciones quirúrgicas que requieren recurso médico especializado, estancia hospitalaria, en algunas ocasiones equipamiento específico y de tecnología de punta por procedimiento, siempre en salas quirúrgicas”. En la figura 22 (anterior página), se puede resaltar la distribución de las salas de cirugía actualmente construida, las áreas adyacentes a las mismas son:

- Exterior
- Sala de recuperación
- Esterilización
- Depósito de equipos y medicamentos
- Preparación de pacientes
- Oficinas
- Descanso de médicos
- Sala de vestier

Posterior en la zona del vestuario, se encuentra el lavamanos quirúrgico Figura 23 (lado izquierdo), pues tanto para pacientes, y personal auxiliar, como para los cirujanos, es obligatorio el lavado de manos antes de ingresar a la zona quirúrgica; esta zona está compuesta por un pasillo el cual tiene en cada lado 4 salas de cirugía de diferentes dimensiones; se puede notar que el personal de aseo y los desechos se encuentran en el mismo pasillo limpio (figura 23, lado derecho).

Figura 23. Pasillo de lavado de manos y pasillo prequirúrgico



Fuente: Elaboración propia

No existe una ruta de limpieza de quirófanos a través del pasillo sucio¹²⁵, como se muestra en la figura 23 (lado derecho). Después de una intervención quirúrgica, se realiza la limpieza inmediata del ambiente interior, con la anotación de que los desechos de la intervención realizada son expuestos en el mismo del pasillo limpio y los demás ambientes adyacentes anteriormente mencionados.

¹²⁵ ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, (AENOR). UNE 171340 Validación Y Cualificación De Salas De Ambiente Controlado En Hospitales. Op cit., p. 5.

Tabla 2. Dimensiones de las salas de cirugía

Quirófano	Largo [m]	Ancho [m]	Alto [m]	Área [m ²]	Vol. [m ³]
1	5.85	5,35	2,78	31.30	87.01
2	5,2	5,35	2,78	27.82	77.34
3	5,2	5,35	2,78	27.82	77.34
4	8,49	5,35	2,78	45.42	126.27

Fuente: Elaboración propia. Instrumento: Distanciómetro digital [Datos].

Las salas de cirugía cuentan con equipos electrónicos misceláneos, asociados con el monitoreo de funciones vitales de los pacientes; equipos encargados del monitoreo de la frecuencia respiratoria, cardíaca, tensión arterial, electrocardiografía y oximetría de pulso. El quirófano está dotado con todos los instrumentales necesarios para la ejecución de cirugías de mediana y alta complejidad.

3.1.2 Parámetros de construcción. En esta sección se identificaron los parámetros de construcción del ambiente interior del quirófano, se identificó el cumplimiento de estos de la normativa y especificaciones técnicas pertinentes.

3.1.2.1 Evaluación de parámetros de diseño. A pesar de que la normativa nacional no especifica parámetros arquitectónicos y de obra civil relacionados con el diseño de las salas limpias, se referenciaron los parámetros de diseño que actualmente exige la Resolución 4445 del ministerio de salud¹²⁶, sobre los que se identificó la sala más pequeña con el menor valor de área superficial del piso; la altura de las tomas eléctricas fue identificada con el fin de reconocer su altura para la conexión de los equipos de monitoreo de signos vitales; estos parámetros fueron los que sirvieron como de referencia para la calificación mostrada en la tabla 3.

Tabla 3. Evaluación de parametros de diseño zona quirurgica, Res. 4445

Parámetro	Variable	Ideal	Real	Unidad	Calificación
Visor puerta	Altura.	1.40	1.40	m	Cumple
Techo	Altura	2.80	2.78	m	Cumple
Área libre	Área	20	27.82	m ²	Cumple
Puerta	Ancho	1.40	1.40	m	Cumple
Tomas eléctricas	Altura	1.40	1.40	m	Cumple
Cumplimiento:			100.0%		

Fuente: COLOMBIA, MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 4445. Diciembre 26. Bogotá D.C., 1996. p. 17.

¹²⁶ COLOMBIA, MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 4445. Op cit., p. 17

Es importante señalar que las superficies de los accesorios y muebles deben ser completamente lavables¹²⁷, de fácil limpieza y desinfección, sin embargo, se resalta el uso actual (figura 24) de estos, en relación con las mesas y sillas plásticas, así como compuertas de gabinetes de madera aglomerada.

Figura 24. Estado actual de accesorios y equipos misceláneos



Fuente: Elaboración propia

3.1.2.2 Evaluación de parámetros de instalación. En la siguiente tabla se especifican los parámetros de calificación relacionados con las zonas adyacentes al quirófano, es decir, pasillos, cuarto de descanso, lavamanos, entre otros.

Tabla 4. Evaluación de parámetros de instalación zona prequirúrgica, Res. 4445

Parámetros	Calificación
Superficies Impermeables, sólidas y resistentes a factores ambientales	No cumple
Superficies lisas, libre de componentes tóxicos, irritantes o inflamables	No cumple
Superficies cubiertas con materiales lavables de fácil limpieza y desinfección	No cumple
Uniones entre paredes, techos y suelo con acabado en media caña	No cumple
Vestuario para cambio de ropa	Cumple
Transferencia de camillas	Cumple
Lavamanos quirúrgico	Cumple
Aseo de salas de cirugía	Cumple
Lavado de instrumental	Cumple
Cuarto de descanso de personal	Cumple
Corredores asépticos	No cumple
Cumplimiento:	54.5%

Fuente: COLOMBIA, MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 4445. Diciembre 26. Bogotá D.C., 1996. p. 17.

¹²⁷ ICONTEC. NTC-ISO 14644-1. Op cit., p. 1.

Específicamente, los corredores asépticos se refieren al adecuado diseño de pasillos que deben tener un revestimiento de un material limpiable, resistente, de fácil desinfección.

Tabla 5. Evaluación de parámetros de instalación zona quirúrgica, Res. 4445

Parámetros	Calificación
Superficies Impermeables, sólidas y resistentes a factores ambientales	No cumple
Superficies lisas, libre de componentes tóxicos, irritantes o inflamables	No cumple
Superficies cubiertas con materiales lavables de fácil limpieza y desinfección	No cumple
Uniones entre paredes, techos y suelo con acabado en media caña	No cumple
Depósito de materiales solidos	Cumple
Depósito de medicamentos	Cumple
Depósito de anestesia	Cumple
Apertura exclusiva hacia el exterior de las salas	No cumple
Acceso restringido	No cumple
Pisos dotados de material conductivo	No cumple
Paredes asépticas	Cumple
Iluminación uniforme	Cumple
Cumplimiento:	41.6%

Fuente: COLOMBIA, MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 4445. Diciembre 26. Bogotá D.C., 1996. p. 17.

En la tabla 5 se muestra la calificación de los parámetros característicos. La dotación de cada una de las salas de cirugía evaluadas, los dispositivos de control de apertura y cierre de las puertas de ingreso a cada una de las salas se encuentran en mal estado, o no están en funcionamiento; por lo tanto, las puertas pueden girar en cualquier sentido, por otra parte, se notó que el suelo de las salas de cirugía no está adecuado con un material conductivo. a pesar de que existen restricciones de ingreso a cada sala de cirugía, no se implementa un adecuado control de ingreso y salida. La figura 25, ilustra los equipos de iluminación quirúrgica actualmente utilizados en las salas de cirugía, para las primeras tres salas se usa una lampara cielitica Berchtold Chromophare® C-571 figura 25 (lado izquierdo), para la cuarta sala de cirugía, se utiliza una lampara cielitica marca Aurinio® LED OR Light Como se observa en la figura 25 (lado derecho, siguiente página).

Figura 25. Lámparas cielíticas de las salas de cirugía



Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Parámetros de confort del ambiente interior. Se verificó el estado actual de las propiedades del aire ambiente interior, mediante la medición de la temperatura (T) y la humedad relativa (HR); los valores medidos se contrastaron con los rangos permisibles establecidos por las normativas relacionadas con las salas limpias. Es preciso mencionar que no se evaluaron los parámetros de presión, ruido e iluminación en los quirófanos, sin embargo, el cuadro 21 contiene los estándares con los cuales deben operar estas variables.

Cuadro 21. Parámetros de confort del ambiente dentro del quirófano

Var.	Descripción	Valor	Unid.	Normativa
T_r	Temperatura interior	22 a 26	°C	UNE 100713 ¹²⁸
HR_r	Humedad Relativa interior	45 a 55	%	
P	Presión	Positiva	-	ASHRAE ¹²⁹
-	Ruido	0 a 40	dB	UNE 100713 ¹³⁰
\bar{E}_m	Iluminación mantenida	10,000 a 100,000	lux	EN 12464-1 ¹³¹
UGR_L	Deslumbramiento unificado	19	-	
R_a	Rendimiento de color	90	lux	

Fuente: Elaboración propia

Se notó que las puertas no tienen un sistema de control para la apertura y cierre de las mismas, como se evidencia en la figura 26 (lado derecho, siguiente página) la puerta de acceso a la sala de cirugía estaba abierta mientras se desarrolla un procedimiento quirúrgico.

¹²⁸ ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, (AENOR). UNE 100713. Op cit., p. 21.

¹²⁹KOENIGSHOFER, Dan. HVAC Design Manual for Hospitals and Clinics, Second Edition. 2nd ed. Atlanta, Ga: ASHRAE, 2013. ISBN: 978-1-936504-39-8. p. 77.

¹³⁰ ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, (AENOR). UNE 100713. Op cit., p. 21.

¹³¹ ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, (AENOR). UNE-EN 12464-1. Op cit. p. 31.

Figura 26. Estado actual del quirófano



Fuente: Elaboración propia

3.1.3.1 Evaluación de la Temperatura (T) interior. Se registró el ingreso al quirófano a las 08:45:00am, se programó el dispositivo Datalogger RHT10 para registrar datos por un periodo de tiempo de 40 minutos, se tomaron 10 datos en cada una de las salas de cirugía, por lo tanto, la frecuencia de medida consistió en que por cada minuto se registren los datos. Se usó el software RHT10 Graph¹³². La evaluación de la temperatura del ambiente interior se realizó en la siguiente tabla:

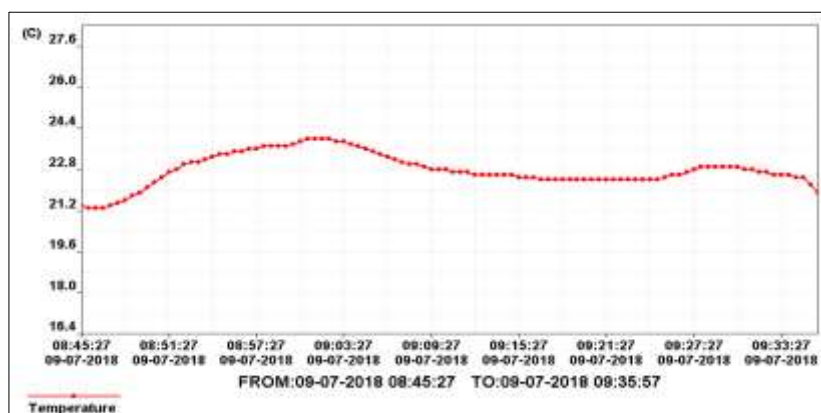
Tabla 6. Evaluación de la temperatura (T) en quirófanos

Punto	Sala 1		Sala 2		Sala 3		Sala 4	
	Hora	T [°C]	Hora	T [°C]	Hora	T [°C]	Hora	T [°C]
1	8:45	21.4	8:55	23.4	9:05	23.5	9:15	22.5
2	8:46	21.3	8:56	23.5	9:06	23.3	9:16	22.5
3	8:47	21.4	8:57	23.6	9:07	23.1	9:17	22.4
4	8:48	21.6	8:58	23.7	9:08	23.0	9:18	22.4
5	8:49	21.9	8:59	23.7	9:09	22.9	9:19	22.4
6	8:50	22.3	9:00	23.9	9:10	22.8	9:20	22.4
7	8:51	22.7	9:01	24.0	9:11	22.7	9:21	22.4
8	8:52	23.0	9:02	24.0	9:12	22.6	9:22	22.4
9	8:53	23.1	9:03	23.9	9:13	22.6	9:23	22.4
10	8:54	23.3	9:04	23.7	9:14	22.6	9:24	22.4
Promedio		22.2		23.7		22.9		22.4
Min	22	Cumple		Cumple		Cumple		Cumple
Max	26	Cumple		Cumple		Cumple		Cumple
General		Cumple		Cumple		Cumple		Cumple
Cumplimiento:						100%		

Fuente: Elaboración propia

¹³² Flir systems Inc. User Guide Humidity / Temperature Datalogger RHT10. [Catalogo]. Op cit., p. 1.

Gráfica 2. Curva de temperatura (T) del quirófano



Fuente: Elaboración propia. Software: RHT10 Graph V5.6.1. 2016 [Gráfica].

3.1.3.2 Evaluación de la Humedad Relativa (HR) interior. La evaluación de la humedad relativa al interior de las salas de cirugía se determinó así: quirófano

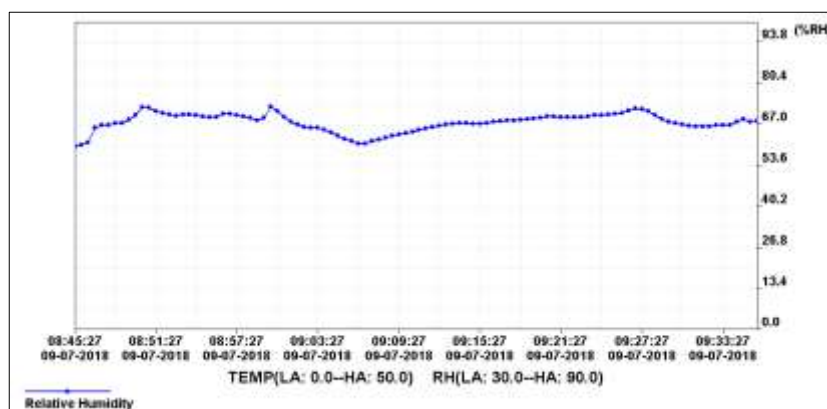
Tabla 7. Evaluación de humedad relativa (HR) en quirófanos

Punto	Sala 1		Sala 2		Sala 3		Sala 4	
	Hora	HR [%]	Hora	HR [%]	Hora	HR [%]	Hora	HR [%]
1	8:45	59.7	8:55	69.1	9:05	62.1	9:15	67
2	8:46	60.9	8:56	70.3	9:06	60.5	9:16	67.6
3	8:47	66.5	8:57	69.7	9:07	61.3	9:17	68
4	8:48	67.3	8:58	68.9	9:08	62.5	9:18	68.3
5	8:49	68.3	8:59	68.9	9:09	63.1	9:19	68.7
6	8:50	72.3	9:00	71.1	9:10	64.5	9:20	69.3
7	8:51	71.2	9:01	67.7	9:11	65.5	9:21	69.2
8	8:52	70.0	9:02	66.0	9:12	66.4	9:22	69.1
9	8:53	70.1	9:03	65.6	9:13	67	9:23	69.4
10	8:54	69.7	9:04	64.2	9:14	67.1	9:24	69.9
Promedio		67.6		68.2		64.0		68.7
Min	45	Cumple		Cumple		Cumple		Cumple
Max	55	No cumple		No cumple		No cumple		No cumple
General		No cumple		No cumple		No cumple		No cumple
Cumplimiento:						0%		

Fuente: Elaboración propia

La gráfica 3 (siguiente página) contiene los valores de humedad relativa (HR) registrados durante la visita realizada al quirófano del hospital seleccionado. La gráfica fue obtenida gracias a la interfaz del software del Datalogger RHT10.

Gráfica 3. Curva de humedad relativa (HR) del quirófano



Fuente: Elaboración propia. Software: RHT10 Graph V5.6.1. 2016 [Gráfica].

3.1.4 Análisis parcial de resultados. Gracias a la evaluación técnica del ambiente interior del quirófano, se pudieron determinar los valores de cumplimiento de los ítems correspondientes consignados en la siguiente tabla:

Tabla 8. Calificación del ambiente interior del quirófano

Ítem	Descripción	Valor	Unidad
1	Parámetros de diseño (zona quirúrgica)	100.0	%
2	Parámetros de instalación (zona prequirúrgica)	54.5	%
3	Parámetros de instalación (zona quirúrgica)	41.6	%
4	Evaluación de temperatura interior	100.0	%
5	Evaluación de humedad relativa	0.0	%
Cumplimiento:		59.2%	

Fuente: Elaboración propia

De esta manera se determinó un cumplimiento del 59.2% para el ambiente interior del quirófano del hospital seleccionado, este valor se relaciona directamente con el nulo cumplimiento del valor de humedad relativa, ya que los datos registrados superaron los límites permitidos por la normativa para las salas de cirugía. Cabe resaltar que el control de temperatura cumple totalmente los estándares normativos, sin embargo, esto se relaciona directamente con las características ambientales de la ciudad de Manizales, las cuales no representan valores críticos de temperatura, en comparación con ciudades con promedios de temperatura superiores.

Adicionalmente, el deficiente cumplimiento de los parámetros de instalación en la zona quirúrgica es coherente con el estado actual de las puertas de restricción de ingreso a los quirófanos, tampoco el material del piso es conductivo y por estas razones no cumple los parámetros estipulados en la normativa nacional.

3.2 EVALUACIÓN TÉCNICA DE DESEMPEÑO DE EQUIPOS

Se realizaron la evaluación real y la ideal del proceso de climatización en el quirófano seleccionado, mediante el desarrollo de los cálculos de cargas térmicas reales e ideales y del desempeño reales e ideales de los equipos de climatización.

3.2.1 Evaluación técnica del proceso real de climatización. La evaluación técnica real del proceso de climatización se realizó a partir de los parámetros del aire de los ambientes exterior e interior mostrados en la siguiente tabla, obtenidos gracias a los instrumentos de medición, se determinaron las cargas térmicas reales del quirófano seleccionado y se determinaron los cálculos de desempeño real de los equipos.

Tabla 9. Cálculo de la densidad del aire y variables ambientales

Variable	Descripción	Valor	Unidad
T_i	Temperatura exterior	22.8	°C
		295.95	K
HR_i	Humedad relativa exterior	71.8	%
P_{wsi}	P. de vapor de saturación exterior	2.782	kPa
ρ_i	Densidad exterior	0.918	kg/m ³
T_r	Temperatura interior	20.8	°C
		293.95	K
HR_r	Humedad relativa interior	59.7	%
P_{wsr}	P. de vapor de saturación interior	2.467	kPa
ρ_r	Densidad interior	0.924	kg/m ³
-	Altitud	2160	m.s.n.m.
P	Presión atmosférica	585	mmHg
		779.936	hPa
		77,993.597	Pa

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.1 Cálculo de la carga térmica real por aire tratado (\dot{Q}_{Ra}). Surge de las condiciones del aire ambiente interior y exterior. La tabla 10 contiene los datos relacionados con las entalpías del ambiente exterior e interior, (h_i).y (h_r) respectivamente, a partir de temperatura (T) y humedad relativa (HR)

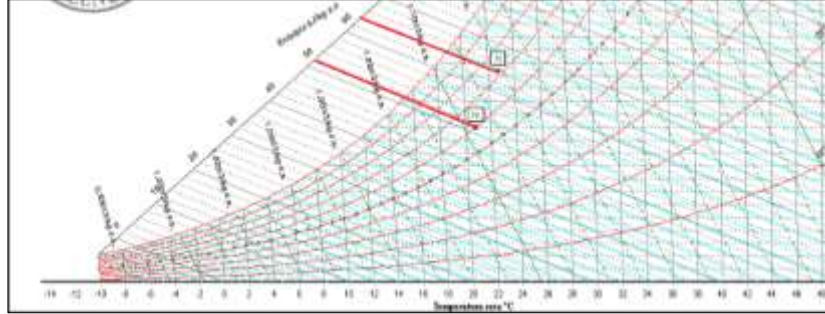
Tabla 10. Datos reales de entalpia

Etiqueta	T [°C]	HR [%]	h [kJ/kg]
h_i	22.8	71.8	64.5
h_r	20.8	59.7	51.2

Fuente: Elaboración propia. Software: SICRO, V2.1.2. 2017 [Datos].

En la siguiente gráfica, se determinaron las entalpías respectivas, la entalpia del aire exterior o aire infiltrado (h_i) y la entalpia del aire interior o refrigerado (h_r).

Gráfica 4. Curva de entalpia real del aire tratado del quirofano



Fuente: Elaboración propia. Software: SICRO, V2.1.2. 2017 [Datos]

Posteriormente, la tabla 11 contiene el cálculo de la carga térmica por aire, en la que se estudiaron coherentemente los parámetros correspondientes. El resultado de la densidad del aire exterior tales como la presión atmosférica¹³³ para la ciudad de Manizales, y la presión de vapor de saturación (P_{ws})¹³⁴ (anexo A). Se determinó un tiempo de ciclado (n) de 600s en relación con el funcionamiento de los equipos.

Tabla 11. Cálculo de carga térmica real por aire tratado (\dot{Q}_{Ra})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
ρ_i	Densidad exterior	0.918	kg/ m ³
V	Volumen interior	367.96	m ³
h_i	Entalpia ambiente infiltrado (exterior)	64.5	kJ/kg
h_r	Entalpia ambiente refrigerado (interior)	51.2	kJ/kg
n	Tiempo de ciclado	600	s
\dot{Q}_{Ra}	Carga térmica real por aire tratado	7.487	kW

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.2 Cálculo de la carga térmica real por equipos misceláneos (\dot{Q}_{Re}). Gracias a la identificación de los equipos electrónicos misceláneos instalados, se pudo determinar la generación de calor de estos, la siguiente tabla (siguiente página) contiene la información técnica de los equipos electrónicos encontrados, así como el cálculo de la carga térmica total generada por estos.

¹³³ PUERTO, Efraín A. Capítulo, Presión Atmosférica. Feb 26. Disponible en: <https://efrainpuerto.wordpress.com>

¹³⁴ MIRANDA, Ángel Luis. Op cit., p. 104.

Tabla 12. Cálculo de la carga térmica real por equipos misceláneos (\dot{Q}_{Re})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
1	Aspirador	0.3335	kW
2	Bomba de infusión	0.035	kW
3	Calefactor de mantas	1.2287	kW
4	Calentador de fluidos	1.1	kW
5	Compresor vascular	0.05	kW
6	Ecógrafo	0.6	kW
7	Electrocardiógrafo	0.042	kW
8	Fuente de luz auxiliar	0.084	kW
9	Lámpara cielíticas	0.115	kW
10	Monitor de signos básicos	0.12	kW
11	Monitor de signos vitales	0.18	kW
\dot{Q}_{Re}	Carga térmica equipos	3.888	kW

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.3 Cálculo de la carga térmica real debida a infiltraciones (\dot{Q}_{Ri}). La tabla13, contiene los resultados arrojados por los cálculos relacionados con el factor de tiempo real de apertura de la entrada (D_t), el factor de densidad (F_m) y la carga sensible y latente de refrigeración (q).

Tabla 13. Cálculo de la carga térmica real debida a infiltraciones (\dot{Q}_{Ri})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
P	Numero de pasillos de entrada	1	-
θ_p	Factor de tiempo de apertura de la entrada	60	s
θ_o	Tiempo permanencia puerta abierta	60	min
θ_d	Periodo de tiempo diario	24	h
D_t	Factor tiempo de apertura de entrada	0.042	-
ρ_i	Densidad del aire infiltrado	0.918	Kg/m ³
ρ_r	Densidad del aire refrigerado	0.924	Kg/m ³
F_m	Factor de densidad	0.998	-
A	Área de la entrada	11.20	m ²
g	Constante gravitacional	9.81	m/s ²
H	Altura de la entrada	8.00	m
q	Carga sensible y latente de refrigeración	11.061	kW
D_f	Factor de flujo de entrada	1.1	-
E	Efectividad de dispositivos de entrada	0	-
\dot{Q}_{Ri}	Carga térmica real debida a infiltraciones	0.515	kW

Fuente: Elaboración propia

Las puertas de ingreso a cada sala no tienen un sistema de control de apertura y cierre o algunos de los que hay se encuentran en mal estado; no se tienen precauciones para el control de apertura de la puerta. Se midió el área de la entrada (A), de acuerdo con la ASHRAE¹³⁵ se estimó un valor de cero para la efectividad de los dispositivos de entrada (E), por último el factor por flujo por la entrada (D_f) se relacionó con la diferencia de temperaturas exterior (T_i) e interior (T_r) inferior a 11°C para un valor de 1.1¹³⁶.

3.2.1.4 Cálculo de carga térmica real por transmisiones de paredes (\dot{Q}_{Rk}). En la siguiente tabla se muestran las mediciones obtenidas en el quirófano, en las que mediante el distanciómetro y el datalogger se registraron los valores de las dimensiones de las paredes y a los parámetros ambientales de la temperatura exterior (T_i) y temperatura interior (T_r), que facilitaron el desarrollo del cálculo.

El valor del coeficiente de transferencia de calor (K) se determinó a partir del reconocimiento del área medianera delimitada por cada pared evaluada. Del cuadro 10 se referenciaron los valores de K , para las paredes que delimitan ambientes adyacentes interiores ($K = 1.8\text{W/m}^2\text{K}$) y paredes que delimitan ambientes adyacentes exteriores ($K = 2.3\text{W/m}^2\text{K}$).

Tabla 14. Cálculo de carga térmica real por transmisiones de paredes (\dot{Q}_{Rk})

Vr.	Descripción	Norte	Sur	Este	Oeste	Unidad
K	Coeficiente calor	2.3	1.8	1.8	2.3	[W/m ² K]
A	Área de la superficie	14.98	14.98	68.78	68.78	[m ²]
-	Ambiente adyacente	Exterior	Hospital	Hospital	Exterior	
T_i	Temperatura exterior	22.8	22.8	22.8	22.8	[°C]
T_r	Temperatura interior	20.8	20.8	20.8	20.8	[°C]
ΔT	Dif. de temperatura	2.0	2.0	2.0	2.0	[°C]
q_k	Carga térmica/pared	0.068	0.054	0.248	0.316	[kW]
\dot{Q}_{Rk}	Carga por transmisiones				0.686	[kW]

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.5 Cálculo de carga térmica real por ocupantes (\dot{Q}_{Ro}). Había 4 personas en cada una de las 2 cirugías que se estaban efectuando durante la visita al hospital.

¹³⁵ ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Chapter 24 Refrigerated-Facility Loads. En: ASHRAE Handbook - Refrigeration (SI Edition) Op cit., p. 4

¹³⁶ ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Chapter 24 Refrigerated-Facility Loads. En: ASHRAE Handbook - Refrigeration (SI Edition) Op cit., p. 4

Tabla 15. Cálculo de carga térmica real debida a los ocupantes (\dot{Q}_{Ro})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
q_p	Carga equivalente por persona	0.176	kW
N_o	Número de personas	8	-
\dot{Q}_{Ro}	Carga térmica debida a los ocupantes	1.408	kW

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.6 Cálculo de la carga térmica real debida a fuentes lumínicas (\dot{Q}_{Rf}). La generación de calor debida a las fuentes lumínicas se determinó mediante el reconocimiento de la cantidad de bombillos al interior de cada una de las salas de cirugía; el factor de uso de iluminación (F_{ul}) tiene un valor de 1.0 dado que se evidencio que las fuentes lumínicas estaban encendidas todo el tiempo, así mismo, el factor de tolerancia especial de iluminación (F_{sa}), de acuerdo con los accesorios específicos de iluminación actualmente instalados, es decir, los balastros que se utilizan para este las bombillas fluorescentes instaladas.

Tabla 16. Cálculo de la carga térmica real debida a fuentes lumínicas (\dot{Q}_{Rf})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
N_f	Numero de bombillos sala 1-3	12	-
	Número de salas	3	-
N_f	Numero de bombillos sala 4	14	-
-	Número de salas	1	-
$Watts$	Capacidad de fuente lumínica	60	W
W	Capacidad total de iluminación	3000	W
F_{ul}	Factor real de uso de iluminación	1.0	-
F_{sa}	Factor real de tolerancia especial	1.3	-
\dot{Q}_{Rf}	Carga real debida a las fuentes lumínicas	3.9	kW

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.7 Cálculo de carga térmica real total (\dot{Q}_{RT}). La tabla 17 (siguiente página) expresa el calculo correspondiente a la sumatoria de las cargas termicas reales al interior de los quirofanos del hospital seleccionado.

Tabla 17. Cálculo de carga térmica real total (\dot{Q}_{RT})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
\dot{Q}_a	Carga térmica por aire tratado	7.487	kW
\dot{Q}_{Re}	Carga térmica debida a equipos	3.888	kW
\dot{Q}_{Ri}	Carga térmica debida a infiltraciones	0.515	kW
\dot{Q}_{Rt}	Carga térmica por transmisiones	0.686	kW
\dot{Q}_{Ro}	Carga térmica debida a los ocupantes	1.408	kW
\dot{Q}_{Rf}	Carga térmica debida fuentes lumínicas	3.900	kW
\dot{Q}_{RT}	Carga térmica real total	17.884	kW

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.8 Evaluación de desempeño real de equipos. Se desarrolló la evaluación técnica del desempeño de los equipos que están actualmente instalados en el hospital encargados de la climatización del ambiente interior de las salas de cirugía.

Cuadro 22. Denominación de equipos del quirófano instalados

Equipo	Modelo	Marca	Refrigerante
Unidad condensadora	TECAM®	3ADW	R22
Unidad manejadora	TECAM®	UVT	

Fuente: Elaboración propia

A partir de las mediciones realizadas con el dispositivo Penta III, se determinó el valor de la presión (P) en cada punto de temperatura (T) medido de la entrada y a la salida de cada una de las etapas del ciclo, la presión se determinó mediante el uso de las tablas de propiedades termodinámicas¹³⁷ del refrigerante las cuales para el refrigerante R22 se pueden encontrar en el anexo B, estos datos fueron registrados en la siguiente tabla (siguiente página):

¹³⁷ ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Chapter 30 Thermophysical Properties of Refrigerants. En: ASHRAE® Handbook - Fundamentals (SI Edition). 2017. ISBN: 978-1-939200-58-. 7p.5

Tabla 18. Parámetros reales del sistema con refrigerante R22

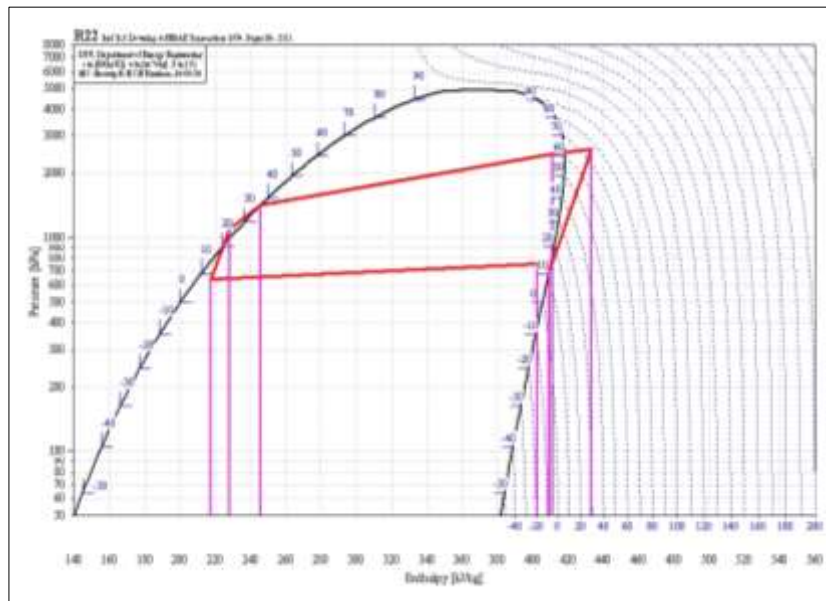
Etapas	Punto	T [°C]	P [kPa]	h [kJ/kg]
Compresión	1	11.1	703.54	409.20
	2	63.4	2610.06	433.46
Condensación	3	61.8	2522.46	410.92
	4	26.3	1080.99	246.23
Expansión	5	23.5	1002.27	221.37
	6	7.8	636.68	219.44
Evaporación	7	7.8	636.68	219.44
	8	13.5	755.35	402.89

Fuente: Elaboración propia

Los valores de entalpia se determinaron mediante el diagrama de Mollier para el refrigerante R22, en dicho diagrama, se trazó la curva del ciclo de refrigeración por compresión de vapor, como se muestra en la gráfica 5, ésta hace referencia a la curva real del sistema de refrigeración por compresión de vapor instalado.

La curva real del sistema fue realizada mediante el software Coolpack, versión 1.5, Refrigeration Utilities.

Gráfica 5. Curva real del sistema de refrigeración del quirófano



Fuente: Elaboración propia con base en diagrama de Mollier.
Software: Coolpack, versión 1.5, Refrigeration utilities
[Gráfica]

La tabla 19 corresponde al cálculo de los parámetros de desempeño reales del sistema de refrigeración evaluado. En primer lugar, se determinó la energía calorífica [kJ/kg] y la potencia térmica [kW] de cada uno de los elementos del sistema, luego, se determinó el flujo másico real (\dot{m}_r) a partir de la carga térmica real total (Q_{RT}) calculada.

Tabla 19. Cálculo de parámetros reales de desempeño equipos

Variable	Descripción	Valor	Unidad
w_{Rcom}	Potencia térmica real del compresor	24.260	kJ/kg
q_{Rcon}	Potencia térmica real del condensador	212.090	kJ/kg
ER_R	Potencia térmica real del evaporador	189.760	kJ/kg
Q_{RT}	Carga térmica real total	17.884	kW
\dot{m}_r	Flujo másico real	0.0942	Kg/s
\dot{W}_{Rcom}	Potencia térmica real del compresor	2.246	kW
\dot{Q}_{Rcon}	Potencia térmica real del condensador	15.250	kW
COP_R	Coeficiente real de rendimiento	6.789	-
EER_R	Factor real de eficiencia energética	7.822	-

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Evaluación técnica proceso ideal de climatización. Se consideraron los valores ambientales críticos registrados en Manizales. La Patria¹³⁸ publicó el registro de temperatura (T) máximo en la ciudad, por un valor de 32°C, el valor máximo de humedad relativa (HR) con 86% registrado por el IDEAM¹³⁹, para los parámetros del ambiente interior se utilizaron los valores indicados por la resolución 4445¹⁴⁰; por lo tanto, el valor de temperatura (T) interior es de 21°C.

La presión de vapor de saturación se determinó a partir de las tablas de las propiedades del aire seco¹⁴¹ ubicadas en el anexo A, por último, el valor de la presión atmosférica es el mismo anotado en la evaluación ideal.

¹³⁸ La Patria. 32°C, la temperatura máxima de la última semana en Manizales. Junio 25. Disponible en: <http://www.lapatria.com/>

¹³⁹ IDEAM. Valores Medios Multianuales de Humedad Relativa en % Periodo 1981 - 2010. Disponible en: http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Humedad-relativa_tabla.pdf

¹⁴⁰ COLOMBIA, MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 4445. Op cit., p. 18

¹⁴¹ MIRANDA, Ángel Luis. Técnicas De Climatización (2a. Ed.). Op cit., p. 194.

Tabla 20. Cálculo de la densidad del aire y los parámetros ambientales

Variable	Descripción	Valor	Unidad
T_i	Temperatura exterior	32.0	°C
		305.15	K
HR_i	Humedad relativa exterior	86.0	%
P_{wsi}	P. de vapor de saturación exterior	4.759	kPa
ρ_i	Densidad exterior	0.8902	kg/m ³
T_r	Temperatura interior	21.0	°C
		294.15	K
HR_r	Humedad relativa interior	50.0	%
P_{wsr}	P. de vapor de saturación interior	2.488	kPa
ρ_r	Densidad interior	0.9235	kg/m ³
P	Presión atmosférica	77993.597	Pa

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.1 Cálculo de la carga térmica ideal por aire tratado (\dot{Q}_{Ia}). La ganancia de calor ideal generada por el aire tratado en el interior fue calculada así:

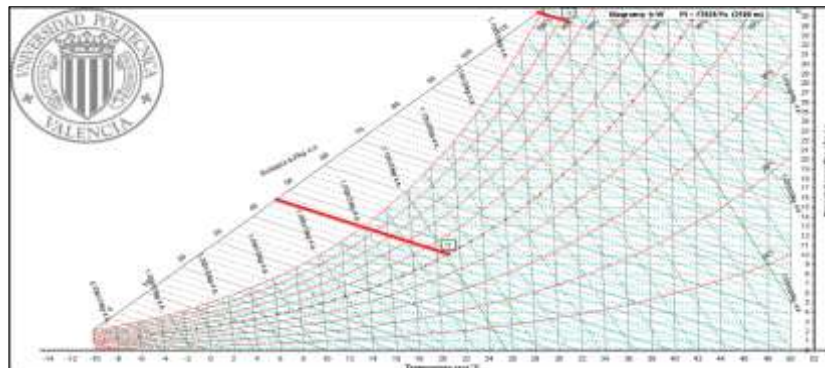
Tabla 21. Datos ideales de entalpia

Etiqueta	T [°C]	ϕ [%]	h [kJ/kg]
h_i	32.0	86.0	120.5
h_r	21.0	50.0	46.8

Fuente: Elaboración propia. Software: SICRO, V2.1.2. 2017 [Datos].

La grafica 6 representa los puntos correspondientes a la diferencia de entalpia mencionada, mediante la carta psicrométrica específica para la altitud de Manizales.

Gráfica 6. Curva de entalpia ideal del aire tratado del quirófano



Fuente: Elaboración propia. Software: SICRO, V2.1.2. 2017 [Datos]

El cálculo de la ganancia de calor ideal por el aire tratado se realizó como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 22. Cálculo de carga termica ideal por aire tratado (\dot{Q}_{Ia})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
ρ_i	Densidad exterior	0.9235	kg/ m ³
V	Volumen	370.61	m ³
h_i	Entalpia ambiente infiltrado (exterior)	120.500	kJ/kg
h_r	Entalpia ambiente refrigerado (interior)	46.800	kJ/kg
n	Tiempo de ciclado	600	s
\dot{Q}_{Ia}	Carga térmica ideal por aire tratado	40.526	kW

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.2 Cálculo de la carga térmica ideal por equipos misceláneos (\dot{Q}_{Ie}). El cálculo se realizó de la misma forma que el cálculo real mostrado en la tabla 11 (...véase sección 3.2.1.2...), ya que, los equipos utilizados para las intervenciones quirúrgicas son los mismos que idealmente deberían estar en funcionamiento.

Tabla 23. Cálculo de la carga térmica ideal por equipos misceláneos (\dot{Q}_{Ie})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
\dot{Q}_{Ie}	Carga térmica equipos	3.888	kW

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.3 Cálculo de la carga térmica ideal debida a infiltraciones (\dot{Q}_{Ii}). De acuerdo con la ASHRAE¹⁴², idealmente el quirófano debe tener una presión positiva en relación con las áreas adyacentes, por esta razón, no se determinó la generación de calor debida a infiltraciones entre puertas y ventanas.

3.2.2.4 Cálculo de carga térmica ideal por transmisiones de paredes (\dot{Q}_{Ik}). En relación con el cálculo de la ganancia de calor por transmisión de paredes al interior del quirófano, se utilizaron los mismos parámetros tales como el área de superficie de transferencia (A) que cumplen con el valor de altura establecidos por la resolución 4445 del ministerio de salud¹⁴³, el cual debe ser mínimo de 2.8m. además, se utilizaron los mismos valores para las temperaturas exterior y exterior, (T_i) y (T_r).

¹⁴² ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Standard 170 Ventilation of Health Care Facilities. 2008 ISBN: 1031-2336. p. 9.

¹⁴³ COLOMBIA, MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 4445. Op cit., p. 17.

El valor del coeficiente de transferencia de calor (K) se determinó a partir del reconocimiento del área medianera delimitada por cada pared evaluada. Del cuadro 10 se referenciaron los valores de K , para las paredes que delimitan ambientes adyacentes interiores ($K = 1.8\text{W/m}^2\text{K}$) y paredes que delimitan ambientes adyacentes exteriores ($K = 2.3\text{W/m}^2\text{K}$).

Tabla 24. Cálculo de carga térmica ideal por transmisiones de paredes (\dot{Q}_{Ik})

Vr.	Descripción	Norte	Sur	Este	Oeste	Unidad
K	Coeficiente t. calor	2.3	1.8	1.8	2.3	[W/m ² K]
A	Área de la superficie	14.98	14.98	68.78	68.78	[m ²]
-	Ambiente adyacente	Exterior	Hospital	Hospital	Exterior	-
T_i	Temperatura exterior	32.0	32.0	32.0	32.2	[°C]
T_r	Temperatura interior	21.0	21.0	21.0	21.0	[°C]
ΔT	Dif. de temperatura	11.0	11.0	11.0	11.0	[°C]
q_k	Carga térmica/pared	0.379	0.297	1.372	1.753	[kW]
\dot{Q}_{Ik}	Carga por transmisiones				3.800	[kW]

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.5 Cálculo de la carga térmica ideal por ocupantes (\dot{Q}_{Io}). La determinación del valor de la ganancia de calor generada por los huéspedes en el interior de los quirófanos fue relacionada con la máxima capacidad de personas en cada sala de cirugía, que corresponde a un máximo de 10 personas por sala.

Tabla 25. Cálculo de carga térmica ideal por ocupantes (\dot{Q}_{Io})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
q_p	Carga equivalente por persona	0.176	kW
N_o	Número de personas	40	-
\dot{Q}_{Io}	Carga térmica ideal debida a los ocupantes	7.04	kW

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.6 Cálculo de la carga térmica ideal debida a fuentes lumínicas (\dot{Q}_{If}). La Resolución 4445 del ministerio de salud¹⁴⁴ establece que la iluminación debe ser uniforme y simétrica en el campo operatorio, por esta razón el desarrollo de este cálculo fue igual que el cálculo de la carga térmica real debida a fuentes lumínicas.

¹⁴⁴ COLOMBIA, MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 4445. Op cit., p. 18.

Tabla 26. Cálculo de la carga térmica ideal debida a fuentes lumínicas (\dot{Q}_{If})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
\dot{Q}_{If}	Carga debida a las fuentes lumínicas	3.9	kW

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.7 Cálculo de la carga térmica ideal total (\dot{Q}_{IT}). La siguiente tabla describe la sumatoria de las cargas termicas ideales calculadas.

Tabla 27. Cálculo de la carga térmica ideal total (\dot{Q}_{IT})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
\dot{Q}_{Ia}	Carga térmica por aire tratado	40.526	kW
\dot{Q}_{Ie}	Carga térmica debida a equipos	3.888	kW
\dot{Q}_{Ii}	Carga térmica debida a infiltraciones	0	kW
\dot{Q}_{Ik}	Carga térmica por transmisiones	3.800	kW
\dot{Q}_{Io}	Carga térmica debida a los ocupantes	7.040	kW
\dot{Q}_{If}	Carga térmica debida fuentes lumínicas	3.900	kW
\dot{Q}_{IT}	Carga térmica ideal total	59.154	kW

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.8 Evaluación de desempeño ideal de equipos. El R22 corresponde a la misma sustancia utilizada en la evaluación real, en la que se compara el cumplimiento de los parámetros de desempeño reales e ideales de los equipos. El siguiente cuadro representa el valor de las presiones sistema ideal de refrigeración.

Cuadro 23. Parámetros del desempeño ideal de equipos

Variable	Descripción	Valor	Unidad
P_L	Presión de succión	683.065	kPa
P_H	Presión de descarga	1803.943	kPa
-	Refrigerante	R22	

Fuente: Elaboración propia.

La curva ideal del sistema de refrigeración fue realizada mediante el Software Coolpack, versión 1.5, *Refrigeration Utilities*, sobre el cual se dibujaron las líneas de presión succión o *Low* (P_L) y presión de descarga o *High* (P_H). Es preciso mencionar que, sobre la siguiente curva (siguiente página), la eficiencia isentrópica tiene un valor igual a 1. La entalpia de cada punto del sistema ideal se determinó mediante el diagrama de Mollier del refrigerante R22.

Tabla 28. Parámetros ideales del sistema con refrigerante R22

Punto	Temperatura [°C]	Presión [kPa]	Entalpia [kJ/kg]
1	10.1	683.065	408.7
2	63.0	1803.943	432.7
3	46.8	1803.943	258.9
4	10.1	683.065	258.9

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 7. Curva ideal del sistema de refrigeración del quirófano



Fuente: Elaboración propia con base en diagrama de Mollier.
Software: Coolpack, Versión 1.5, Refrigeration utilities
[Grafica]

Los cálculos de los parámetros de desempeño se determinaron a partir de las ecuaciones planteadas en las generalidades y se hallaron los valores de los parámetros que determinan el balance energético de los equipos de climatización. Cabe resaltar que para determinar el valor de flujo másico ideal (\dot{m}_i) fue necesario recordar el valor de la carga térmica ideal total, lo que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 29. Cálculo de los parámetros de desempeño ideales de equipos

Variable	Descripción	Valor	Unidad
w_{Icom}	Potencia térmica ideal del compresor	24.000	kJ/kg
q_{Icon}	Potencia térmica ideal del condensador	174.000	kJ/kg
ER_i	Efecto refrigerante ideal	150.000	kJ/kg
Q_{iT}	Carga térmica ideal total	59.154	kW
\dot{m}_i	Flujo másico ideal	0.394	Kg/s
\dot{W}_{Icom}	Potencia térmica ideal del compresor	9.465	kW
\dot{Q}_{Icon}	Potencia térmica ideal del condensador	68.618	kW
COP_I	Coeficiente ideal de rendimiento	7.250	-
EER_I	Factor ideal de eficiencia energética	6.250	-

Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Análisis parcial de resultados. La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos del estudio del desempeño de equipos de refrigeración del hospital, cabe resaltar que la capacidad del evaporador instalada (\dot{Q}_{eva}) solamente cumple en un 30.8%.

Tabla 30. Calificación del desempeño de equipos del quirófano

Variable	Descripción	Valor	Unidad
\dot{Q}_{eva}	Capacidad real del evaporador	17.884	kW
\dot{Q}_{IT}	Carga térmica ideal total	59.154	kW
$\%C.$	Cumplimiento	30.2	%
COP_R	Coeficiente real de rendimiento	6.789	-
COP_I	Coeficiente ideal de rendimiento	7.250	-
$\%C.$	Cumplimiento	93.6	%
EER_R	Factor real de eficiencia energética	7.822	-
EER_I	Factor ideal de eficiencia energética	6.250	-
$\%C.$	Cumplimiento	125.2	%
Cumplimiento:		83.0%	

Fuente: Elaboración propia

Ésta tabla evidencia un cumplimiento muy bajo en relación con el sistema ideal capaz de operar correctamente en condiciones críticas de humedad relativa y temperatura del ambiente. Sin embargo, el resultado del cumplimiento muestra un valor de 83.0% lo cual significa que el equipo instalado está en condición de acuerdo con la calificación del nivel de cumplimiento.

Como se mencionó sección 1.4.3.2, la potencia térmica del compresor (\dot{W}_{com}), es igual al consumo del del sistema de refrigeración (P_{elec}), por esta razón el consumo real y el consumo ideal se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 31. Comparación entre el consumo eléctrico real y el ideal

Variable	Descripción	Valor	Unidad
P_{elecR}	Consumo real compresor	2.286	kW
P_{elecI}	Consumo ideal compresor	9.477	kW

Fuente: Elaboración propia

Es evidente que el sistema de refrigeración real instalado tiene un consumo eléctrico 75.9% menor que el sistema ideal calculado, lo que se relaciona directamente con el análisis de la capacidad instalada, ya que, en condiciones críticas, el equipo actual no alcanza a satisfacer la demanda de ganancias de calor en condiciones ambientales críticas.

3.3 EVALUACIÓN TÉCNICA DE INFRAESTRUCTURA DE EQUIPOS

En esta sección del documento, se evaluaron los aspectos relacionados con la infraestructura de los equipos de utilizados actualmente. De los cuales se tuvo en cuenta el estado y condición de la instalación, diseño y accesorios.

3.3.1 Estado actual de los equipos. Gracias al registro fotográfico durante la visita técnica, se pudieron identificar los aspectos que muestran el estado actual de los equipos encargados de la climatización de las salas de cirugía, entre los cuales están la unidad condensadora, la unidad manejadora y los filtros de limpieza de aire del quirófano.

Gracias al reconocimiento de la unidad condensadora (figura 27, lado izquierdo), se evidencio la falta de tornillería del soporte base del gabinete o carcaza, adicionalmente se notó que la tornillería de la compuerta de inspección estaba en mal estado, cabe resaltar que este equipo se encuentra actualmente fuera del mercado. La accesibilidad a los equipos se ve en la figura 27 (lado derecho), en la que se identifica un trayecto al borde del techo sin dotación adecuada en relación con las normativas de seguridad, los equipos presentaban suciedad a causa de la contaminación.

Figura 27. Unidad condensadora del quirófano y acceso cubierta



Fuente: Elaboración propia

La figura 28 (lado izquierdo) permite ver el estado actual de las líneas de succión y descarga del compresor, se puede identificar el mal estado por presencia de oxido, y suciedad. Por otro lado, el aislamiento de la línea de succión (figura 28, lado derecho) presenta rotura y necesita ser cambiado.

Figura 28. Válvulas de servicio y serpentín condensador



Fuente: Elaboración propia

Los ductos de extracción (figura 29, lado izquierdo) reflejan el estado de suciedad de las rejillas. Nuevamente las condiciones de accesibilidad al cuarto de equipos (figura 29, lado derecho) no están adecuadas de acuerdo con normas de seguridad.

Figura 29. Ductos de extracción del quirófano y compuertas



Fuente: Elaboración propia

La figura 30 (lado izquierdo) hace ver la configuración en forma vertical. de la unidad manejadora, cabe resaltar que es un equipo para trabajo pesado con una capacidad instalada de 8tr, actualmente se encuentra fuera del mercado. Estado actual del prefiltros en las ventanas del cuarto de equipos.

Figura 30. Unidad manejadora y paños en ventanas



Fuente: Elaboración propia

La válvula de expansión se encontraba en mal estado como se muestra en la figura 31 (lado izquierdo), se observó reguero en el piso de la unidad manejadora a causa del mal estado de los sistemas de drenaje. La figura 31 (lado derecho) corresponde al cuarto de equipos y su distribución, donde se encuentran la mayoría de las manejadoras de aire de las especialidades más importantes, como el quirófano y la unidad de cuidado intensivo.

Figura 31. Válvula de expansión y cuarto de equipos



Fuente: Elaboración propia

Cabe resaltar que no todos los equipos de refrigeración se encuentran ubicados en un cuarto como este, a pesar de que las normativas y los fabricantes recomiendan ubicar los equipos de refrigeración en espacios similares, no todos los equipos de

refrigeración del hospital seleccionado están allí ubicados, pues algunos están en el interior de la edificación, por ejemplo, encima del cielo raso (falso techo), ello que puede traer consecuencias negativas por generación de microorganismos a causa de las fugas de agua y problemas de condensación. Adicionalmente, esos equipos también se encuentran ubicados en las paredes exteriores.

Gracias al acompañamiento del personal técnico, se pudo hacer el reconocimiento del estado actual de los equipos tanto en su interior como en su exterior, y se destacó la ausencia de tornillería en el soporte de la base del motor de la transmisión de la manejadora, figura 32 (lado izquierdo), adicionalmente, se vio que las correas de la transmisión estaban rotas y que requieren ser cambiadas en el menor tiempo posible (figura 32 lado derecho).

Figura 32. Motor y polea conducida y transmisión ventilador



Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la figura 33 (lado izquierdo, siguiente página) la unidad manejadora cuenta con unos filtros lavables justo a la entrada del aire suministrado al quirófano. Es preciso mencionar que el primer sistema de filtración corresponde a filtros MERV con un 65% de eficiencia, seguidos con filtros HEPA de 99.99% de eficiencia. Cabe mencionar que no existe un monitoreo de presión diferencial para conocer el estado de los filtros, también se resalta que la última fecha de cambio de filtros fue el 09 de agosto de 2017 (figura 33 lado derecho), aun cuando los estándares indican que se deben cambiar anualmente.

Figura 33. Sistema de filtros en la unidad manejadora de aire



Fuente: Elaboración propia

Por último, se elaboró el siguiente formato de registro de fallas, identificando los aspectos específicos de cada uno de los elementos del ciclo de refrigeración, en los cuales se analizaron principalmente las condiciones de estado del equipo. El parámetro, “pieza” hace referencia a las a los componentes denominados por los fabricantes.

Tabla 32. Formato de análisis de falla de equipos del quirófano

Equipo	Parte	Síntoma	Causa	Descripción
Unidad condensadora	Línea de succión	Rotura	Daño de repuesto	Mal estado el aislamiento de la tubería de entrada al compresor
Unidad condensadora	Compuerta inspección	Desajuste	Falta repuesto	Falta tornillería fijación compuertas de inspección equipo
Unidad condensadora	Gabinete	Suciedad	Contaminación	Se observa material particulado suspendido.
Unidad condensadora	Gabinete	Desajuste	Falta repuesto	Falta tornillería de fijación soporte base de condensadora a cubierta.
Unidad Manejadora	Compuerta inspección	Desajuste	Falta repuesto	Falta tornillería fijación compuertas de inspección equipo
Unidad manejadora	Válvula de expansión	Desgaste	Daño repuesto	Mal estado del sistema capilar de la válvula de expansión
Unidad manejadora	Drenaje	Reguero	Condensación	Se observa reguero en el piso por condensación no se detecta sistema de drenaje

Fuente: Elaboración propia

3.3.1.1 Evaluación de parámetros de infraestructura de equipos. De acuerdo con el reconocimiento realizado en campo anteriormente, se procedió a realizar la calificación de los parámetros de infraestructura de equipos a partir del aspecto ambiental, de la accesibilidad y el estado de los equipos; como se indica en el procedimiento de evaluación de infraestructura de equipos, estos mismos aspectos se tuvieron en cuenta para el desarrollo de la matriz de calificación de cumplimiento de infraestructura de equipos. Como se observa en la tabla 33

Tabla 33. Calificación de la infraestructura de equipos del quirófano

Equipo	Ambiente	Acceso	Estado
Compresor	Cumple	No cumple	No cumple
Condensador	Cumple	No cumple	No cumple
Expansión	Cumple	No cumple	No cumple
Evaporador	Cumple	No cumple	Cumple
Cumplimiento:		41.7%	

Fuente: Elaboración propia

3.4 ANALISIS DE RESULTADOS PARA SALAS DE CIRUGIA

La evaluación técnica del proceso de climatización en el quirófano del hospital seleccionado se muestra en la siguiente tabla, que contiene los resultados arrojados por la calificación de cada uno de los parámetros estudiados.

Tabla 34. Calificación del cumplimiento del quirófano

Parámetro	Valor
Calificación del ambiente interior	59.2%
Calificación de desempeño de equipos	83.0%
Calificación de infraestructura de equipos	41.7%
Cumplimiento:	61.3%
	Deficiente

Fuente: Elaboración propia

La calificación fue deficiente con un valor de 61.3%, ya que se evidenció que los equipos están funcionando correctamente a pesar de que no tienen la capacidad de brindar un ambiente de confort en el interior de las instalaciones en situaciones críticas del ambiente exterior.

La calificación de infraestructura de equipos resalto el estado actual de estos; el evaporador, fue el equipo que no presentó ninguna novedad, además, se resalto que no hay una buena gestión del mantenimiento, se requiere que exista más atención en la adecuación de los espacios donde se ubican los equipos, y se garanticen prácticas seguras en el mantenimiento.

Por último, la calificación del ambiente interior resalto el poco cumplimiento relacionado con los estándares de diseño e instalación del quirófano, adicionalmente se evidencio el poco control de los parámetros de la calidad del ambiente interior, específicamente con la humedad relativa.

4. UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS

Esta sección del documento corresponde a la evaluación técnica de la unidad de cuidados intensivos (UCI), a partir de los datos registrados durante la visita técnica.

4.1 EVALUACIÓN TÉCNICA DEL AMBIENTE INTERIOR

La unidad de cuidados intensivos (UCI) de las instalaciones prestadoras de servicio de salud, son áreas especializadas encargadas del cuidado y monitoreo de la recuperación de los usuarios, en este apartado se evaluó el estado actual del ambiente interior de la unidad de cuidados intensivos del hospital seleccionado.

4.1.1 Estado actual de la UCI. Gracias a la información suministrada y los planos arquitectónicos, se pudo identificar el interior de la unidad de cuidados intensivos, cuyos servicios de salud se complementan de:

- Trabajo de enfermería limpio y sucio
- Central de monitoreo y coordinación UCI
- Cubículos de cuidado intensivo y pacientes aislados
- Preparación de medicamentos y material estéril
- Descanso del personal

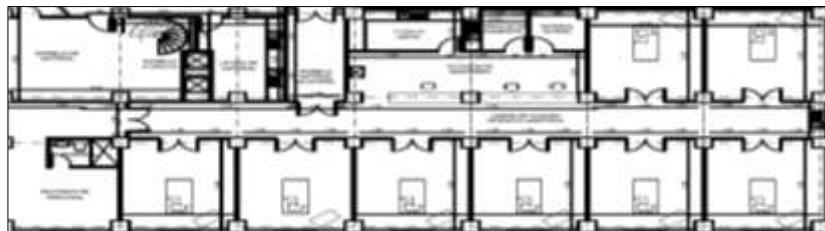
Se pudo constatar el estado actual de los procesos y servicios prestados por esta área especializada del hospital seleccionado, así como el diseño e instalaciones y que, por tratarse de unas actividades con exigencias de sanidad elevadas, corresponde a un local de nivel I¹⁴⁵, por esta razón, debe contar con 3 niveles de filtración, en el que la primer etapa debe contar con un filtro de clase F5, ubicado en la toma de aire exterior de la UMA; la segunda etapa de filtración debe ser un filtro F9, ubicado después de la UMA y al comienzo del conducto de impulsión de aire; la tercer etapa de filtración debe contar con un filtro clase H13, ubicado en la unidad terminal del conducto¹⁴⁶.

En la figura 34 (siguiente página) se puede observar la distribución de las camillas en la parte inferior; el sistema de refrigeración únicamente cubre cada cubículo, es decir, el control del confort del ambiente se da únicamente para los cubículos ocupados por los huéspedes en recuperación, mas no para el personal ubicado en las oficinas.

¹⁴⁵ ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, (AENOR). UNE 100713. Op cit., p. 5.

¹⁴⁶ Ibid., p. 6.

Figura 34. Distribución de cubículos en la UCI



Fuente: Información suministrada por el Hospital.

El ingreso a la unidad estaba dotado con avisos de seguridad relacionados con el lavado de manos y requisitos para el ingreso de personal, sin embargo, no se observó ninguna restricción para el ingreso ya que las puertas se encontraban completamente abiertas entre los pasillos del hospital, y en los pasillos de la unidad.

Figura 35. Lavado de manos y avisos de restricción en UCI



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se notó que la unidad cuenta con central de monitoreo y almacenamiento de vestuario para el personal de la unidad de acuerdo con la normativa.

Figura 36. Central de monitoreo y vestuario del personal de UCI



Fuente: Elaboración propia

Se reconoció la ventanilla de intercambio de instrumental, debidamente cerrada para evitar el intercambio entre el aire limpio con el aire de los pasillos; también se observó que las puertas de ingreso a la unidad estaban completamente abiertas.

Figura 37. Intercambio de instrumental y puertas de ingreso



Fuente: Elaboración propia

Se evidenció la apertura de puertas al interior de los pasillos (figura 38 lado izquierdo) y en las puertas de ingreso a la unidad de cuidados intensivos que igualmente se encontraban abiertas como se observa en la figura 38 (lado derecho).

Figura 38. Puertas interiores, pasillo y puertas de ingreso en UCI



Fuente: Elaboración propia

Se observa el estado actual del servicio de recuperación, con dotación de equipos de alta tecnología para el control de este proceso, adicionalmente se nota el uso de equipos de última tecnología para el monitoreo de signos vitales.

Figura 39. Camillas y monitor de signos vitales en cubiculos UCI



Fuente: Elaboración propia

Se muestra la rejilla de expulsión en la esquina superior de cada cubículo de la unidad, además, se observa el estado actual de los equipos misceláneos en el interior de cada cubículo destinados al monitoreo de signos vitales.

Figura 40. Rejilla extracción y unidad de control signos de vitales



Fuente: Elaboración propia

En el cuarto de enfermería de trabajo sucio, fue obvia la suciedad en el lavador del área de trabajo (figura 41 lado izquierdo), además se observa nuevamente el material de las puertas (figura 41 lado derecho) propenso para generar microorganismos y por ello no es material limpio ni aséptico.

Figura 41. Cuarto de enfermería (trabajo sucio, UCI)



Fuente: Elaboración propia

En el cuarto de enfermería de trabajo limpio, se analizaron los parámetros de instalación, Allí no se utilizan materiales lavables ni de fácil limpieza, tales como la canastilla mostrada en la figura 42 (lado izquierdo, siguiente página).

Figura 42. Cuarto de enfermería (trabajo limpio, UCI)



Fuente: Elaboración propia

En los pasillos de la unidad de cuidados intensivos se destacaron algunos guardaescobas de tipo media caña en mal estado, los cuales deben tener una superficie uniforme, de fácil limpieza y desinfección, para mitigar la presencia de microorganismos. La figura 43 (lado derecho) muestra los depósitos de residuos ubicados en cada uno de los cubículos de la unidad de cuidados intensivos.

Figura 43. Guardaescoba media caña y depósito de residuos



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el personal presente durante la visita técnica, fue manifiesta la necesidad de abrir las puertas de los cubículos ya que es muy alta la sensación de calor al interior en estos. Ello se debe a que el equipo de refrigeración se encuentra normalmente fuera de servicio, en la evaluación técnica de desempeño fue necesario iniciar el equipo para realizar la medición del ciclo de refrigeración por compresión de vapor. En la figura 44 (lado derecho) se pueden ver las rejillas de impulsión hacia el interior de los cubículos.

Figura 44. Puertas de acceso a cubículos e inyección de aire



Fuente: Elaboración propia

El sistema de refrigeración actual está suministra aire únicamente en los cubículos de la unidad, es decir que las rejillas de impulsión están únicamente en el interior de los cubículos y no hay control del confort ambiental en el resto de la unidad de cuidados intensivos. La siguiente tabla muestra las dimensiones de los 16 cubículos, que tienen todas las mismas medidas.

Tabla 35. Dimensiones de los cubículos de la UCI

Quirófano	Largo [m]	Ancho [m]	Alto [m]	Área [m ²]	Vol. [m ³]
1 a 8	4.1	5.35	2.5	21.9	54.8

Fuente: Elaboración propia. Instrumento: Distanciómetro digital [Datos].

4.1.1.1 Evaluación de parámetros de diseño de la UCI. El Parámetro de diseño indicado al interior de la UCI corresponde al área mínima por cubículo.

Tabla 36. Evaluación de parámetros de diseño cubículos UCI Res. 4445

Parámetro	Variable	Ideal	Real	Unidad	Calificación
Área mínima	Área	8	21.9	m ²	Cumple
Cumplimiento:			100.0%		

Fuente: COLOMBIA, MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 4445. Diciembre 26. Bogotá D.C., 1996. p. 17.

4.1.1.2 Evaluación parámetros instalación de la UCI. En el área de enfermería, se evidenció que no existía un sistema de suministro de aire, ya que el sistema instalado está diseñado para climatizar solo los cubículos. Además, al interior de los cubículos están instalados las rejillas de impulsión y extracción de aire, sin embargo, el equipo de climatización no funciona automáticamente. En la siguiente página, las tablas 37 y 38 evidencian los parámetros de instalación de los cubículos normales, y los cubículos de aislamiento. La evaluación del cumplimiento de los parámetros de instalación se realizó así:

Tabla 37. Evaluación de parámetros de instalación enfermería UCI, Res. 4445

Parámetros	Calificación
Superficies Impermeables, sólidas y resistentes a factores ambientales	No cumple
Superficies lisas, libre de componentes tóxicos, irritantes o inflamables	Cumple
Superficies cubiertas con materiales lavables de fácil limpieza y desinfección	No cumple
Uniones entre paredes, techos y suelo con acabado en media caña	No cumple
Oficinas de coordinación	Cumple
Vestuario y unidad sanitaria para personal	Cumple
Puesto de control	Cumple
Sala de enfermería (trabajo limpio y sucio)	Cumple
Acceso restringido	No cumple
Depósito de medicamentos	Cumple
Depósito de equipos y material de esterilización	Cumple
Vestuario y filtro acceso visitantes	No cumple
Puesto de control centralizado respecto a los cubículos	Cumple
Señalización	Cumple
En la puerta de ingreso de ubican las medidas de prevención	Cumple
Cumplimiento:	66.7%

Fuente: COLOMBIA, MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 4445. Diciembre 26. Bogotá D.C., 1996. p. 17.

Tabla 38. Evaluación de parámetros instalación de cubículos, Res. 2003

Parámetros	Calificación
Superficies Impermeables, sólidas y resistentes a factores ambientales	Cumple
Superficies lisas, libre de componentes tóxicos, irritantes o inflamables	Cumple
Superficies cubiertas con materiales lavables de fácil limpieza y desinfección	Cumple
Uniones entre paredes, techos y suelo con acabado en media caña	Cumple
Tomas eléctricas para conexión de equipos	Cumple
Oxígeno por paciente y aire medicinal por paciente	Cumple
Área alrededor de la cama permite el paso de personal y equipos	Cumple
Camas de dos o tres plano, de acuerdo con el servicio prestado	Cumple
Monitores, bombas, pulsioxímetros y equipos de monitoreo	Cumple
Suministro de ventilación artificial	No cumple
Sistema de Impulsión y extracción de aire	No cumple
Cumplimiento:	80%

Fuente: COLOMBIA, MINISTERIO. DE SALUD. Resolución 2003. Mayo 28, 2014. p. 1.

Tabla 39. Evaluación de parámetros instalación para aislamiento, Res. 2003

Parámetros	Calificación
Superficies Impermeables, sólidas y resistentes a factores ambientales	Cumple
Superficies lisas, libre de componentes tóxicos, irritantes o inflamables	Cumple
Superficies cubiertas con materiales lavables de fácil limpieza y desinfección	Cumple
Uniones entre paredes, techos y suelo con acabado en media caña	Cumple
Tomas eléctricas para conexión de equipos	Cumple
Oxígeno por paciente y aire medicinal por cubículo	Cumple
Área alrededor de la cama permite el paso de personal y equipos	Cumple
Camas de dos o tres plano, de acuerdo con el servicio prestado	Cumple
Monitores, bombas, pulsioxímetros y equipos de monitoreo	Cumple
1 cubículo de aislamiento por cada 20 camas	Cumple
Cubículos de aislamiento dotados con duchas y acceso directo	No cumple
Suministro de ventilación artificial	No cumple
Evita circulación cruzada o recirculación del aire de otras áreas	No cumple
Antecámara construida entre el cubículo de aislamiento y el pasillo	No cumple
Presión diferencial positiva o negativa de acuerdo con servicio	No cumple
Sistema de Impulsión y extracción de aire	No cumple
Cumplimiento:	62.5%

Fuente: COLOMBIA, MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 2003.

4.1.2 Parámetros de confort del ambiente interior. En el desarrollo de esta evaluación se evaluaron los parámetros correspondientes a la temperatura (T) y a la humedad relativa (HR), los parámetros de presión diferencial e iluminación no fueron comprendidos en los objetivos de este proyecto, sin embargo, se resaltaron los valores respectivos de cada parámetro en el siguiente cuadro:

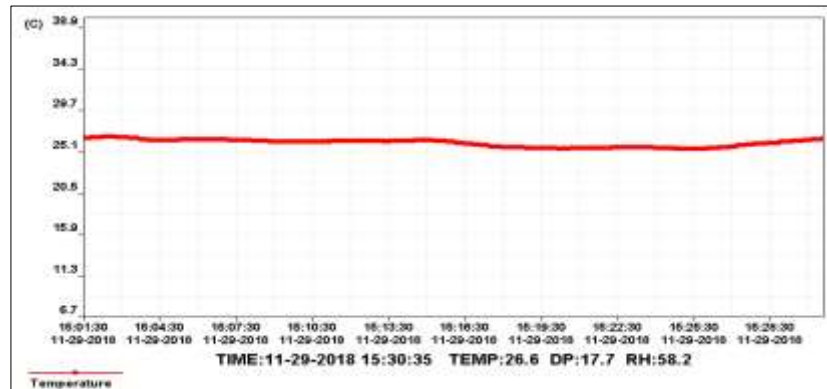
Cuadro 24. Parámetros de confort del ambiente dentro de la UCI

Var.	Descripción	Valor	Unid.	Normativa
T_r	Temperatura interior	24 a 26	°C	UNE 100713 ¹⁴⁷
HR_r	Humedad Relativa interior	45 a 55	%	
P	Presión	No registra	-	ASHRAE ¹⁴⁸
-	Ruido	35	dB	UNE 100713 ¹⁴⁹
\bar{E}_m	Iluminación mantenida	10	lux	EN 12464-1 ¹⁵⁰
UGR_L	Deslumbramiento unificado	19	-	
R_a	Rendimiento de color	90	lux	

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.1 Evaluación de la Temperatura (T) interior. Según la disponibilidad, el tiempo de registro de datos fue de 30 minutos, por tal razón la evaluación se realizó así:

Gráfica 8. Curva de temperatura (T) de la UCI



Fuente: Elaboración propia. Software: RHT10 Graph V5.6.1. 2016 [Gráfica].

¹⁴⁷ ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, (AENOR). UNE 100713. Op cit., p. 21.

¹⁴⁸ KOENIGSHOFER, Dan. HVAC Design Manual for Hospitals and Clinics, Second Edition. 2nd ed. ed. Atlanta, Ga: ASHRAE, 2013. ISBN: 978-1-936504-39-8. p. 77.

¹⁴⁹ ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, (AENOR). UNE 100713. Op cit., p. 21.

¹⁵⁰ ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, (AENOR). UNE-EN 12464-1. Op cit. p. 34.

Los datos arrojados por el dispositivo de medida se muestran en la tabla 40, los cuales fueron registrados a lo largo del reconocimiento realizado durante la visita técnica en la unidad de cuidados intensivos.

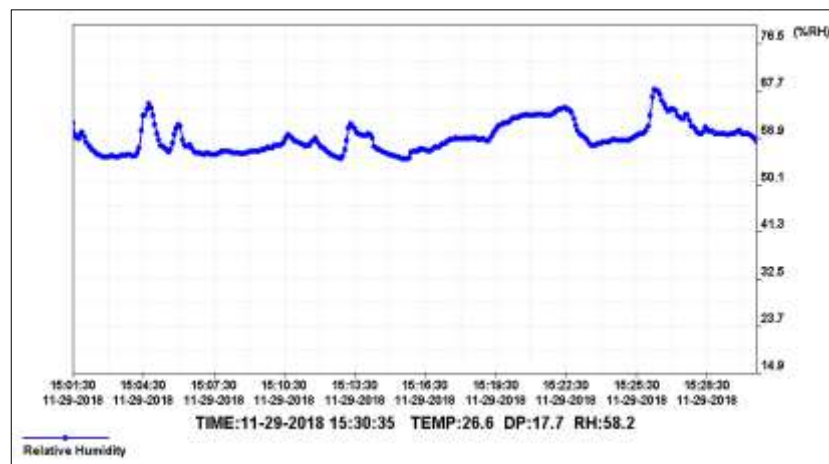
Tabla 40. Evaluación de la temperatura (T) en la UCI

Medidas	-	Hora	T [°C]	-	Hora	T [°C]	-	Hora	T [°C]
	1	15:01	26.6	11	15:11	26.2	21	15:21	25.5
	2	15:02	26.7	12	15:12	26.3	22	15:22	25.5
	3	15:03	26.7	13	15:13	26.3	23	15:23	25.6
	4	15:04	26.5	14	15:14	26.3	24	15:24	25.5
	5	15:05	26.4	15	15:15	26.4	25	15:25	25.4
	6	15:06	26.5	16	15:16	26.2	26	15:26	25.4
	7	15:07	26.5	17	15:17	25.9	27	15:27	25.7
	8	15:08	26.4	18	15:18	25.6	28	15:28	26.0
	9	15:09	26.8	19	15:19	25.5	29	15:29	26.2
	10	15:10	26.2	20	15:20	26.5	30	15:30	26.4
Promedio		26.5		26.1		25.7			
Min	22	Cumple		Cumple		Cumple			
Max	26	No cumple		No cumple		Cumple			
General		No cumple		No cumple		Cumple			
Cumplimiento				33.3%					

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2 Evaluación de la Humedad Relativa (HR) interior. Los datos arrojados junto con los datos de temperatura, mediante el dispositivo datalogger. La siguiente curva expresa los datos registrados.

Gráfica 9. Curva de humedad relativa (HR) de la UCI



Fuente: Elaboración propia. Software: RHT10 Graph V5.6.1. 2016 [Gráfica].

Tabla 41. Evaluación de humedad relativa (HR) en UCI

Medidas	-	Hora	HR[%]	-	Hora	HR[%]	-	Hora	HR[%]	
	1	15:01	61.7	11	15:11	58.2	21	15:21	63.1	
	2	15:02	59.0	12	15:12	57.6	22	15:22	63.5	
	3	15:03	55.3	13	15:13	55.4	23	15:23	60.3	
	4	15:04	55.6	14	15:14	59.3	24	15:24	57.9	
	5	15:05	61.4	15	15:15	55.7	25	15:25	58.4	
	6	15:06	61.4	16	15:16	56.4	26	15:26	61.0	
	7	15:07	55.9	17	15:17	57.2	27	15:27	64.3	
	8	15:08	56.3	18	15:18	58.7	28	15:28	60.6	
	9	15:09	56.3	19	15:19	58.7	29	15:29	59.7	
	10	15:10	57.0	20	15:20	61.7	30	15:30	59.6	
Promedio			58.0				57.9			
Min	45	Cumple			Cumple			Cumple		
Max	55	No cumple			No cumple			Cumple		
General		No cumple			No cumple			Cumple		
Cumplimiento:					0%					

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Análisis parcial de resultados. Los ítems mostrados en la siguiente tabla corresponden a los parámetros evaluados del ambiente interior de la unidad de cuidados intensivos.

Tabla 42. Calificación del ambiente interior de la UCI

Ítem	Descripción	Valor	Unidad
1	Parámetros de diseño (cubículos)	100	%
2	Parámetros de instalación (estación enfermería)	66.7	%
3	Parámetros de instalación (cubículos)	80	%
4	Parámetros de instalación (cubículos aislamiento)	62.5	%
5	Evaluación de temperatura interior	33.3	%
6	Evaluación de humedad relativa	0	%
Cumplimiento:		57.1%	

Fuente: Elaboración propia

Con esta calificación, se pudo determinar un cumplimiento del 57.1% en relación con los parámetros establecidos en la normativa nacional e internacional.

Este resultado se relaciona directamente con el mal funcionamiento del sistema de climatización instalado, ya que interfiere en la sensación de confort en el interior de la unidad de cuidados intensivos e interfiere con los aspectos sanitarios que contribuyen a la buena calidad del servicio de salud prestado

4.2 EVALUACIÓN TÉCNICA DE DESEMPEÑO DE EQUIPOS

La evaluación técnica del desempeño de equipos se determinó a partir de la comparación del rendimiento real de los mismos contra el funcionamiento ideal. Adicionalmente se relacionó la capacidad instalada del equipo de climatización actual, contra la demanda ideal de ganancia de calor en el interior de la UCI.

4.2.1 Evaluación técnica del proceso real de climatización. La tabla 43 corresponde al cálculo de la densidad del aire, en el cual se consideró el valor mínimo registrado de temperatura y humedad relativa, por el dispositivo de recolección de datos, Datalogger Rht10, con unos valores de 25.5°C y 55.7% respectivamente para los parámetros del ambiente interior de la UCI.

Tabla 43. Cálculo de la densidad del aire y variables ambientales

Variable	Descripción	Valor	Unidad
T_i	Temperatura exterior	26.5	°C
		299.65	K
HR_i	Humedad relativa exterior	59.9	%
P_{wsi}	P. de vapor de saturación exterior	3.483	kPa
ρ_i	Densidad exterior	0.9066	kg/m ³
T_r	Temperatura interior	25.5	°C
		298.65	K
HR_r	Humedad relativa interior	55.7	%
P_{wsr}	P. de vapor de saturación interior	3.284	kPa
ρ_r	Densidad interior	0.9096	kg/m ³
-	Altitud	2160	m.s.n.m.
P	Presión atmosférica	585	mmHg
		779.936	hPa
		77,993.697	Pa

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.1 Cálculo de la carga térmica real por aire tratado (\dot{Q}_{Ra}). Con el interés de efectuar el cálculo de la carga térmica real para el al aire ambiente tratado, para la ciudad de Manizales, se calcularon las entalpías del ambiente exterior e interior así:

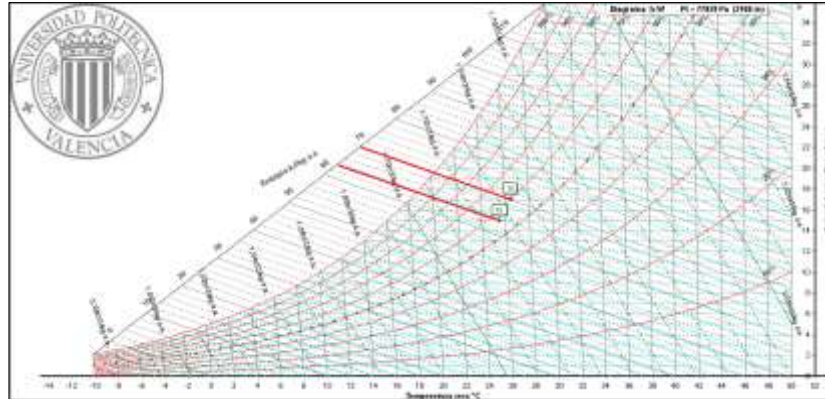
Tabla 44. Datos reales de entalpia

Etiqueta	T [°C]	HR [%]	h [kJ/kg]
h_i	26.5	59.9	70.1
h_r	25.5	55.7	63.7

Fuente: Elaboración propia. Software: SICRO, V2.1.2. 2017 [Datos].

Los datos reales del ambiente interior y del ambiente exterior, fueron trazados en la gráfica 10, la cual se relaciona con los mostrados anteriormente. Esta grafica corresponde al diagrama psicrométrico para el aire de la ciudad de Manizales, con una altitud de 2160m s. n. m. es decir, una presión atmosférica de 77993.597Pa.

Gráfica 10. Curva de entalpia real del aire tratado de la UCI



Fuente: Elaboración propia. Software: SICRO, V2.1.2. 2017
[Datos]

Gracias a la coherencia de los datos con las propiedades del aire ambiente tratado en el hospital seleccionado, el cálculo de la carga térmica de este parámetro se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 45. Cálculo de carga térmica real por aire tratado (\dot{Q}_{Ra})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
ρ_i	Densidad exterior	0.9066	kg/ m ³
V	Volumen interior	438.70	m ³
h_i	Entalpia ambiente infiltrado (exterior)	70.1	kJ/kg
h_r	Entalpia ambiente refrigerado (interior)	63.7	kJ/kg
n	Tiempo de ciclado	600	s
\dot{Q}_{Ra}	Carga térmica real por aire tratado	4.242	kW

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.2 Cálculo de la carga térmica real por equipos misceláneos (\dot{Q}_{Re}). La información suministrada por el hospital seleccionado permitió resaltar los equipos electrónicos que se encuentran actualmente en la UCI, los cuales satisfacen los procesos de salud en esta área del hospital. Después de recibir esta información, se procedió a consultar los catálogos de cada uno de estos equipos para consultar sus especificaciones técnicas relacionadas con la alimentación eléctrica. La siguiente tabla (siguiente página) contiene la información del cálculo relacionado con la generación de calor real por equipos misceláneos.

Tabla 46. Cálculo de la carga térmica real por equipos misceláneos (\dot{Q}_{Re})

Equipo	Descripción	Valor	Unidad
1	Analizador de gases	0.243	kW
2	Aspirador	3.200	kW
3	Bomba de infusión	0.720	kW
4	Calefactor de mantas	0.482	kW
5	Cama electrónica	4.800	kW
6	Central de monitoreo	0.360	kW
7	Desfibrilador	0.500	kW
8	Electrocardiógrafo de 18 derivadas	0.220	kW
9	Máquina para hemodiálisis	1.386	kW
10	Módulo de electroencefalografía	0.378	kW
11	Monitor de signos vitales	1.872	kW
12	Nevera	0.065	kW
13	Ventilador	2.400	kW
\dot{Q}_{Re}	Carga térmica equipos	16.626	kW

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.3 Cálculo de la carga térmica real debida a infiltraciones (\dot{Q}_{Ri}). El cálculo del factor de tiempo de apertura de entrada (D_t), surge a partir de estado actual de los dispositivos de apertura y cierre de las puertas instaladas de los cubículos.

Tabla 47. Cálculo de la carga térmica real debida a infiltraciones (\dot{Q}_{Ri})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
P	Numero de pasillos de entrada	1	-
θ_p	Factor de tiempo de apertura de la entrada	5	s
θ_o	Tiempo permanencia puerta abierta	60	min
θ_d	Periodo de tiempo diario	24	h
D_t	Factor tiempo de apertura de entrada	0.042	-
ρ_i	Densidad del aire infiltrado	0.9066	Kg/m ³
ρ_r	Densidad del aire refrigerado	0.9096	Kg/m ³
F_m	Factor de densidad	0.999	-
A	Área de la entrada	23.68	m ²
g	Constante gravitacional	9.81	m/s ²
H	Altura de la entrada	2.00	m
q	Carga sensible y latente de refrigeración	7.791	kW
D_f	Factor de flujo de entrada	1.0	-
E	Efectividad de dispositivos de entrada	0.0	-
\dot{Q}_{Ri}	Carga térmica real debida a infiltraciones	0.325	kW

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.4 Cálculo de carga térmica real por transmisiones de paredes (\dot{Q}_{Rk}). La UCI se encuentre en el tercer y último piso del bloque hospitalario. Gracias al reconocimiento del ambiente interior y a los planos arquitectónicos suministrados, se pudieron identificar las superficies medianeras que delimitan la unidad con los ambientes alrededor, tanto, exterior, como interior.

El valor del coeficiente de transferencia de calor (K) se determinó a partir del reconocimiento del área medianera delimitada por cada pared evaluada. Del cuadro 10 se referenciaron los valores de K , para las paredes que delimitan ambientes adyacentes interiores ($K= 1.8\text{W}/\text{m}^2\text{K}$), paredes que delimitan ambientes adyacentes exteriores ($K = 2.3\text{W}/\text{m}^2\text{K}$) y vidrios medianeros con ambientes exteriores ($K = 5.8\text{W}/\text{m}^2\text{K}$).

Tabla 48. Cálculo de carga térmica real por transmisiones de paredes (\dot{Q}_{Rk})

Vr.	Descripción	Norte	Sur	Este	Oeste	Techo	Unidad	
		Pared	Pared	Pared	Vidrio	Pared		Pared
K	Coef. t. calor	1.8	1.8	1.8	5.8	5.8	1.2	[W/m ² K]
A	Á. superficie	13.38	13.38	64.00	18.00	82.00	350.96	[m ²]
-	A. adyacente	Ext.	Ext.	Ext.	Ext.	Int.	Ext.	-
T_i	T. exterior	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	[°C]
T_r	T. interior	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5	[°C]
ΔT	Diferencia. T	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	[°C]
q_k	C. térmica	0.024	0.024	0.115	0.104	0.476	0.421	[kW]
\dot{Q}_{Rk}	C. por trans.						1.165	[kW]

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.5 Cálculo de carga térmica real por ocupantes (\dot{Q}_{Ro}). Se reconoció que, de los 8 cubículos actualmente instalados, 6 estaban ocupados por pacientes en estado crítico, adicionalmente, el personal de enfermería que conforma la unidad corresponde a un total de 7 personas presentes en la unidad durante la misma visita.

Tabla 49. Cálculo de carga térmica real debida a los ocupantes (\dot{Q}_{Ro})

Variable	Descripción	Estancia	Valor	Unidad
q_p	Carga equivalente por persona	Huésped	0.073	kW
		Personal	0.176	kW
N_o	Número de personas	Huésped	6	-
		Personal	7	-
\dot{Q}_{Ro}	Carga térmica debida a los ocupantes		1.670	kW

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.6 Cálculo de la carga térmica real debida a fuentes lumínicas (\dot{Q}_{Rf}). La iluminación instalada en el ambiente interior corresponde a un total de 4 bombillos fluorescentes por cada cubículo. El cálculo de la generación de calor debida a fuentes lumínicas se desarrolló en la siguiente tabla:

Tabla 50. Cálculo de la carga térmica real debida a fuentes lumínicas (\dot{Q}_{Rf})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
N_f	Numero de bombillos por cubículo	4	-
-	Número de cubículos	8	-
$Watts$	Capacidad de fuente lumínica	32	W
W	Capacidad total de iluminación	1,024	W
F_{ul}	Factor real de uso de iluminación	1.0	-
F_{sa}	Factor real de tolerancia especial	1.3	-
\dot{Q}_{Rf}	Carga real debida a las fuentes lumínicas	1.331	kW

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.7 Cálculo de carga térmica real total (\dot{Q}_{RT}). La sumatoria de las cargas termicas generadas al interior de la UCI se calculo en la tabla 50.

Tabla 51. Cálculo de la carga térmica real total (\dot{Q}_{RT})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
\dot{Q}_a	Carga térmica por aire tratado	4.242	kW
\dot{Q}_{Re}	Carga térmica debida a equipos	16.626	kW
\dot{Q}_{Ri}	Carga térmica debida a infiltraciones	0.325	kW
\dot{Q}_{Rt}	Carga térmica por transmisiones	0.954	kW
\dot{Q}_{Ro}	Carga térmica debida a los ocupantes	1.670	kW
\dot{Q}_{Rf}	Carga térmica debida fuentes lumínicas	1.331	kW
\dot{Q}_{RT}	Carga térmica total	25.149	kW

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.8 Desempeño real de equipos. En el siguiente cuadro se describen las características principales de los equipos actualmente instalados.

Cuadro 25. Denominación de equipos de la UCI instalados

Equipo	Modelo	Marca	Refrigerante
Unidad condensadora	TECAM®	3ADW	R22
Unidad manejadora	TECAM®	UVT	

Fuente: Elaboración propia

Las mediciones de las temperaturas de cada uno de los elementos del ciclo de refrigeración se determinaron a partir del dispositivo Penta III se determinó la entalpia de cada punto de la etapa del ciclo, pues se determinó el valor de presión para cada valor de temperatura a partir de la tabla de propiedades termodinámicas del refrigerante R22 (anexo B) y así determinar la entalpia de cada uno.

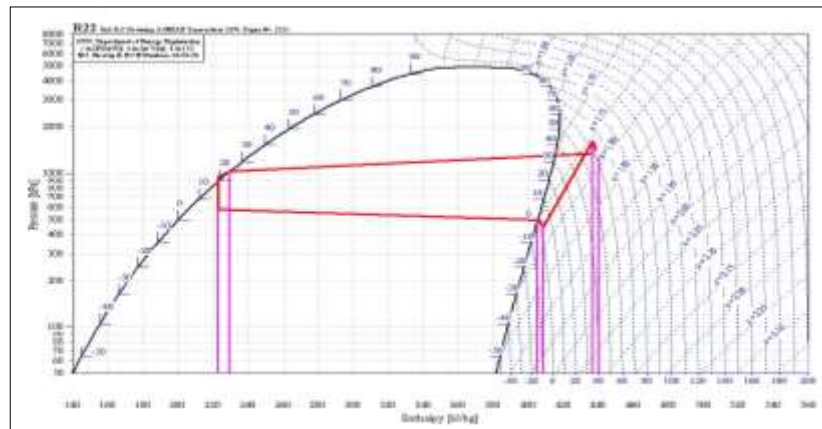
Tabla 52. Parámetros reales del sistema con refrigerante R22

Etapas	Punto	T [°C]	P [kPa]	h [kJ/kg]
Compresión	1	1.4	520.69	408.91
	2	42.5	1629.11	436.63
Condensación	3	40.1	1537.26	438.37
	4	24.3	1024.31	229.41
Expansión	5	23.8	1010.50	222.41
	6	-2.3	461.33	222.82
Evaporación	7	-1.5	461.33	222.82
	8	0.9	512.35	405.79

Fuente: Elaboración propia

Después determinar cada una de las propiedades de temperatura (T), Humedad relativa (HR) Y entalpia (h), se pudo trazar la curva real del sistema de climatización para la UCI, como se muestra en la siguiente gráfica.

Gráfica 11. Curva real del sistema de refrigeración de la UCI



Fuente: Elaboración propia con base en diagrama de Mollier.
Software: Coolpack, versión 1.5, Refrigeration utilities [Grafica]

Los valores calculados de entalpia fueron utilizados para determinar los datos de desempeño real del equipo de climatización instalado actualmente, tales como, el flujo másico (\dot{m}_r), el balance energético de cada uno de los elementos del ciclo, y los coeficientes de eficiencia energética del sistema.

Tabla 53. Cálculo de los parámetros de desempeño reales de equipos

Variable	Descripción	Valor	Unidad
w_{Rcom}	Potencia térmica real del compresor	27.720	kJ/kg
q_{Rcon}	Potencia térmica real del condensador	214.220	kJ/kg
ER_R	Potencia térmica real del evaporador	186.090	kJ/kg
Q_{RT}	Carga térmica real total	25.149	kW
\dot{m}_r	Flujo másico real	0.1351	Kg/s
\dot{W}_{Rcom}	Potencia térmica real del compresor	4.860	kW
\dot{Q}_{Rcon}	Potencia térmica real del condensador	36.637	kW
COP_R	Coficiente real de rendimiento	7.538	-
EER_R	Factor real de eficiencia energética	6.713	-

Fuente: Elaboración propia

4.2.2 Evaluación técnica del proceso ideal de climatización. Así como la evaluación técnica del proceso ideal de climatización del quirófano, la capacidad ideal del sistema de climatización para la Unidad de Cuidados Intensivos fue determinada a partir de los valores críticos de las propiedades de temperatura (T) y humedad relativa (HR) del aire ambiente exterior para la ciudad e Manizales. Sin embargo, para los valores de los parámetros del ambiente interior, la normativa UNE 100713¹⁵¹ contiene los rangos permisibles de temperatura y humedad relativa. La siguiente tabla contiene el cálculo correspondiente a las densidades del aire ambiente exterior e interior, de acuerdo con las condiciones mencionadas.

Tabla 54. Cálculo de la densidad del aire y los parámetros ambientales

Variable	Descripción	Valor	Unidad
T_i	Temperatura exterior	32.0	°C
		305.15	K
HR_i	Humedad relativa exterior	86.0	%
P_{wsi}	P. de vapor de saturación exterior	4.759	kPa
ρ_i	Densidad exterior	0.8902	kg/m ³
T_r	Temperatura interior	24	°C
		297.15	K
HR_r	Humedad relativa interior	50	%
P_{wsr}	P. de vapor de saturación interior	2.98512	kPa
ρ_r	Densidad interior	0.9142	kg/m ³
P	Presión atmosférica	77993.597	Pa

Fuente: Elaboración propia

¹⁵¹ ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, (AENOR). UNE 100713. Op cit., p. 21.

4.2.2.1 Cálculo de la carga térmica ideal por aire tratado (\dot{Q}_{Ia}). Los valores críticos de los parámetros del aire ambiente mencionados fueron utilizados para el cálculo de la carga térmica ideal por aire tratado. La siguiente tabla describe los valores obtenidos para la entalpia ideal para el ambiente interior y el ambiente exterior.

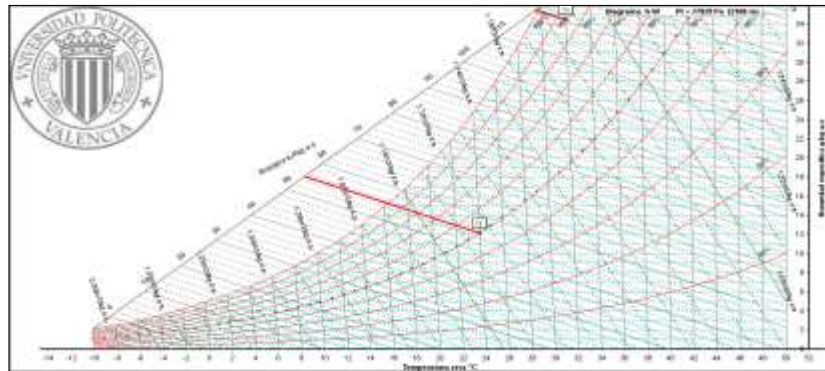
Tabla 55. Datos ideales de entalpia

Etiqueta	T [°C]	φ [%]	h [kJ/kg]
h_i	32	86.0	120.5
h_r	24	50.0	55.1

Fuente: Elaboración propia. Software: SICRO, V2.1.2. 2017 [Datos].

Los datos arrojados por el software fueron graficados en el diagrama psicrométrico correspondiente a las propiedades geográficas de la ciudad de Manizales.

Gráfica 12. Curva de entalpia ideal del aire tratado de la UCI



Fuente: Elaboración propia. Software: SICRO, V2.1.2. 2017 [Datos]

Por ultimo, gracias al reconocimiento de las dimensiones de los cubículos al interior de la UCI, se calculo la carga termica ideas por aire tratado, asi:

Tabla 56. Cálculo de la carga térmica ideal por aire tratado (\dot{Q}_{Ia})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
ρ_i	Densidad exterior	0.8902	kg/ m ³
V	Volumen	438.70	m ³
h_i	Entalpia ambiente infiltrado (exterior)	120.50	kJ/kg
h_r	Entalpia ambiente refrigerado (interior)	55.1	kJ/kg
n	Tiempo de ciclado	600	s
\dot{Q}_{Ia}	Carga térmica ideal por aire tratado	42.569	kW

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.2 Cálculo de la carga térmica ideal por equipos misceláneos (\dot{Q}_{Ie}). El desarrollo de la obtención de la carga térmica ideal por equipos misceláneos corresponde al mismo valor que el cálculo obtenido en la evaluación técnica de desempeño real de los equipos, ya que los dispositivos actualmente utilizados corresponden a los mismos que se deberían utilizar en condiciones ideales. La siguiente tabla, representa el valor calculado de la carga térmica por equipos misceláneos.

Tabla 57. Cálculo de la carga térmica ideal por equipos misceláneos (\dot{Q}_{Ie})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
\dot{Q}_{Ie}	Carga térmica equipos	16.626	kW

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.3 Cálculo de la carga térmica ideal debida a infiltraciones (\dot{Q}_{Ii}). De acuerdo con la ASHRAE, idealmente el quirófano debe tener una presión positiva en relación con las áreas adyacentes, por esta razón, no se determinó la generación de calor debida a infiltraciones entre puertas y ventanas.

4.2.2.4 Cálculo de carga térmica ideal por transmisiones de paredes (\dot{Q}_{Ik}). Calculada a partir de las condiciones críticas del aire ambiente, del dimensionamiento del diseño de los cubículos, junto con los planos arquitectónicos de la planta física suministrados por el hospital. El valor del coeficiente de transferencia de calor (K) se determinó a partir del reconocimiento del área medianera delimitada por cada pared evaluada. Del cuadro 10 se referenciaron los valores de K , para las paredes que delimitan ambientes adyacentes interiores ($K = 1.8W/m^2K$), paredes que delimitan ambientes adyacentes exteriores ($K = 2.3W/m^2K$) y vidrios medianeros con ambientes exteriores ($K = 5.8W/m^2K$).

Tabla 58. Cálculo de carga térmica ideal por transmisiones de paredes (\dot{Q}_{Ik})

Vr.	Descripción	Norte	Sur	Este	Oeste	Techo	Unidad	
		Pared	Pared	Pared	Vidrio	Pared		Pared
K	Coef. t. calor	1.8	1.8	1.8	5.8	5.8	1.2	[W/m ² K]
A	Á. superficie	13.38	13.38	64.00	18.00	82.00	175.48	[m ²]
-	A. adyacente	Ext.	Ext.	Ext.	Ext.	Int.	Ext.	-
T_i	T. exterior	32	32	32	32	32	32	[°C]
T_r	T. interior	24	24	24	24	24	24	[°C]
ΔT	Diferencia. T	8	8	8	8	8	8	[°C]
q_k	C. térmica	0.193	0.193	0.922	0.835	3.805	1.685	[kW]
\dot{Q}_{Ik}	C. por trans.						18.000	[kW]

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.5 Cálculo de la carga térmica ideal por ocupantes (\dot{Q}_{Io}). Para determinar la generación de calor a razón de las personas al interior de la UCI, se consideró el número de máximo de personas autorizadas para permanecer en esta área, que corresponde a un valor de 16 personas al interior de los cubículos entre huéspedes y visitantes, y un valor de 18 personas de enfermería, esta información fue suministrada por el personal presente durante la visita técnica realizada.

Tabla 59. Cálculo de carga térmica ideal por ocupantes (\dot{Q}_{Io})

Variable	Descripción	Estancia	Valor	Unidad
q_p	Carga equivalente por persona	Huésped	0.073	kW
		Personal	0.176	kW
N_o	Número de personas	Huésped	8	-
		Personal	9	-
\dot{Q}_{Io}	Carga térmica debida a los ocupantes		2.168	kW

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.6 Cálculo de la carga térmica ideal debida a fuentes lumínicas (\dot{Q}_{If}). Gracias a que existe un correcto funcionamiento e instalación de la iluminación al interior de los cubículos de la unidad, el valor de la carga térmica ideal por fuentes lumínicas corresponde al mismo valor que el calculado en la evaluación técnica real.

4.2.2.7 La siguiente tabla se utiliza el relaciona el mismo resultado para el cálculo de la carga térmica ideal debida a fuentes lumínicas.

Tabla 60. Cálculo de la carga térmica ideal debida a fuentes lumínicas (\dot{Q}_{If})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
\dot{Q}_{If}	Carga real debida a las fuentes lumínicas	1.331	kW

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.8 Cálculo de carga térmica ideal total (\dot{Q}_{IT}). El siguiente calculo (siguiente página) corresponde a la sumatoria de las cargas termicas ideales calculadas para la Unidad de Cuidados intensivos.

Tabla 61. Cálculo de carga térmica ideal total (\dot{Q}_{IT})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
\dot{Q}_{Ia}	Carga térmica por aire tratado	42.569	kW
\dot{Q}_{Ie}	Carga térmica debida a equipos	16.626	kW
\dot{Q}_{Ii}	Carga térmica debida a infiltraciones	0	kW
\dot{Q}_{Ik}	Carga térmica por transmisiones	18.000	kW
\dot{Q}_{Io}	Carga térmica debida a los ocupantes	2.168	kW
\dot{Q}_{If}	Carga térmica debida fuentes lumínicas	1.331	kW
\dot{Q}_{IT}	Carga térmica ideal total	80.695	kW

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.9 Desempeño ideal de equipos. Se calcularon las condiciones de rendimiento del sistema ideal de acuerdo con la carga térmica calculada para la UCI.

Cuadro 26. Parámetros del desempeño ideal de equipos

Variable	Descripción	Valor	Unidad
P_L	Presión de succión	488.923	kPa
P_H	Presión de descarga	1300.294	kPa
	Refrigerante	R22	

Fuente: Elaboración propia.

Se determinó la temperatura a la salida del evaporador, y a la salida del condensador, las cuales permitieron calcular los valores de presión (P) y entalpía (h) del sistema ideal, como se expresa en la siguiente tabla:

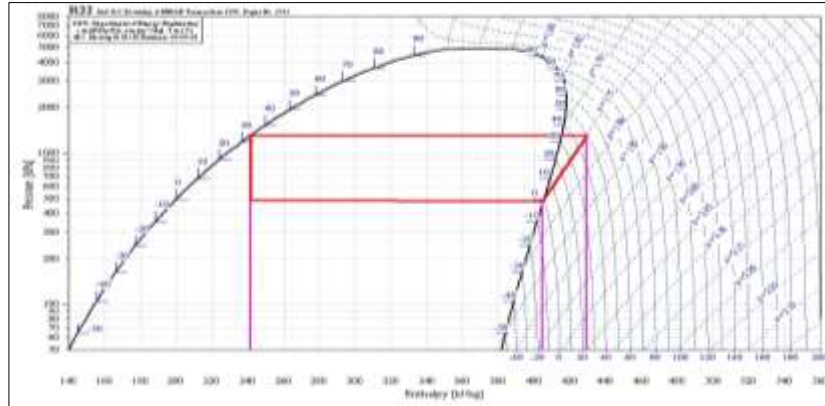
Tabla 62. Parámetros ideales del sistema con refrigerante R22

Punto	Temperatura [°C]	Presión [kPa]	Entalpía [kJ/kg]
1	-0.5	488.923	405.0
2	49.5	1300.294	429.2
3	33.4	1300.294	241.1
4	-0.5	488.923	241.1

Fuente: Elaboración propia

Con los valores obtenidos, se trazó la curva ideal del sistema de climatización, utilizando el mismo diagrama correspondiente al refrigerante R22 que permite resaltar la diferencia entre el comportamiento del sistema ideal respecto a la curva real del sistema, se procedió a determinar el flujo másico ideal (\dot{m}_i).

Gráfica 13. Curva ideal del sistema de refrigeración de la UCI



Fuente: Elaboración propia con base en diagrama de Mollier.
Software: Coolpack, versión 1.5, Refrigeration utilities [Grafica]

Tabla 63. Cálculo de los parámetros de desempeño ideales de equipos

Variable	Descripción	Valor	Unidad
w_{Icom}	Potencia térmica ideal del compresor	24.200	kJ/kg
q_{Icon}	Potencia térmica ideal del condensador	188.100	kJ/kg
ER_i	Efecto refrigerante ideal	163.900	kJ/kg
Q_{iT}	Carga térmica ideal total	80.695	kW
\dot{m}_i	Flujo másico ideal	0.873	Kg/s
\dot{W}_{Icom}	Potencia térmica ideal del compresor	21.116	kW
\dot{Q}_{Icon}	Potencia térmica ideal del condensador	164.128	kW
COP_I	Coficiente ideal de rendimiento	7.773	-
EER_I	Factor ideal de eficiencia energética	6.773	-

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Análisis parcial de resultados. Se realizó el análisis correspondiente a los parámetros de desempeño reales e ideales, mediante la comparación de la capacidad del evaporador (\dot{Q}_{eva}), el coeficiente de rendimiento (COP) y el factor de eficiencia energética (EER), y de esta manera determinar el porcentaje de cumplimiento de los equipos actualmente instalados. Por último, se determinó la relación de consumo energético actual, respecto al consumo energético del sistema ideal que debería estar instalado en la Unidad de Cuidados Intensos.

Tabla 64. Calificación del desempeño de equipos de la UCI

Variable	Descripción	Valor	Unidad
\dot{Q}_{eva}	Capacidad real del evaporador	25.149	kW
\dot{Q}_{IT}	Carga térmica ideal total	80.695	kW
%C.	Cumplimiento	31.2	%
COP_R	Coeficiente real de rendimiento	7.538	-
COP_I	Coeficiente ideal de rendimiento	7.773	-
%C.	Cumplimiento	97.0	%
EER_R	Factor real de eficiencia energética	6.713	-
EER_I	Factor ideal de eficiencia energética	6.773	-
%C.	Cumplimiento	99.1	%
Cumplimiento:		96.5%	

Fuente: Elaboración propia

Se resalta el poco cumplimiento de la capacidad del evaporador instalado actualmente (\dot{Q}_{eva}), con un valor de 31.2%; los parámetros de eficiencia energética demuestran un cumplimiento superior al 96.5%, lo cual describe el buen funcionamiento de los equipos instalados actualmente.

El consumo eléctrico real (P_{elecR}) se relaciona directamente con la capacidad del evaporador instalada (\dot{Q}_{eva}), en donde el consumo eléctrico ideal del compresor sería muchísimo mayor para satisfacer la ganancia de calor ideal generada en el ambiente interior de la Unidad.

Tabla 65. Comparación entre el consumo eléctrico real y el ideal

Variable	Descripción	Valor	Unidad
P_{elecR}	Consumo real compresor	7.538	kW
P_{elecI}	Consumo ideal compresor	11.933	kW

Fuente: Elaboración propia

4.3 EVALUACIÓN TÉCNICA DE INFRAESTRUCTURA DE EQUIPOS

La validación de infraestructura de los equipos de climatización de la Unidad de cuidados intensivos se desarrolló a partir de la de las condiciones de instalación, diseño, y estado actual de los accesorios de los equipos.

4.3.1 Estado actual de los equipos. Gracias al reconocimiento en campo de los equipos realizado durante la visita técnica al hospital seleccionado, se pudo evidenciar el estado actual de la unidad condensadora, y la unidad manejadora de aire, así como las partes constituyentes de cada equipo. La conformación del sistema de aire actualmente instalado consiste en la unidad manejadora de aire que suministra este en el interior de los cubículos numerados del 1 al 8; esto se logra a través de un sistema de ductos metálicos rectangulares, incluso el recubrimiento térmico en su extensión. El suministro de aire es independiente para cada cubículo de la Unidad de Cuidados Intensivos

Presencialmente, se pudo reconocer el desajuste en el soporte base de la unidad condensadora, lo que podría provocar vibración del equipo, o daño por mala instalación, esto ocurre por la ausencia de la tornillería de fijación en la base del gabinete de la condensadora (figura 45 lado izquierdo), adicionalmente se advirtió la soltura de la compuerta de inspección del equipo (figura 45, lado derecho.) debido al mal estado de la tornillería de esta.

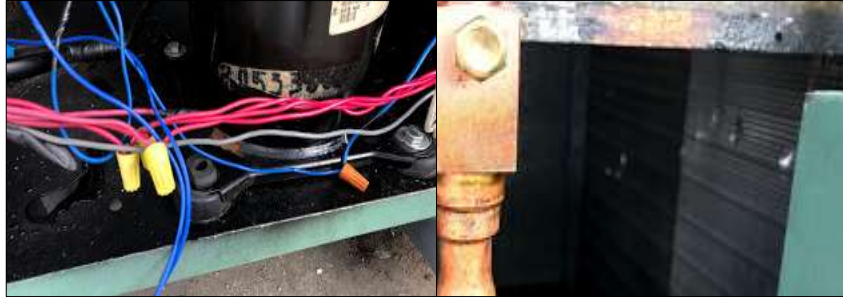
Figura 45. Estado actual de la unidad condensadora (UCI)



Fuente: Elaboración propia

El sistema eléctrico de la unidad condensadora (figura 46 lado izquierdo, siguiente página) se encontraba en mal estado o estaba mal conectado, además en esta misma figura se puede ver la ausencia de tornillería de fijación en la base del compresor, en la misma figura (lado derecho) se observa el mal estado de las aletas del serpentín condensador en el interior del gabinete.

Figura 46. Estado actual interior de condensadora (UCI)



Fuente: Elaboración propia

En la figura 47 (lado izquierdo), se ve el estado actual del presostato de baja presión, se resalta que esta sección de la línea de succión no tiene material de aislamiento, de igual modo la figura 47 (lado derecho) muestra el mal estado del aislamiento de esta línea de succión en la parte exterior de la unidad condensadora.

Figura 47. Accesorios unidad condensadora (UCI)



Fuente: Elaboración propia

En la figura 48 (lado izquierdo, siguiente página) se pudo notar nuevamente la falta de tornillería en la placa del soporte base del compresor. Se observó el mal estado del sistema eléctrico en el interior de la guarda de protección mostrada en la figura 50 (lado derecho), pues no están bien instalados los controles.

Figura 48. Elementos del sistema de climatización (UCI)



Fuente: Elaboración propia

La unidad manejadora de aire se encontraba en el interior del cuarto de equipos, la siguiente figura muestra el estado actual tanto de la unidad manejadora completa (figura 49, lado izquierdo), como el estado actual de la rejilla de succión del aire impulsado al interior de la instalación de la Unidad de Cuidados Intensivos, en esta rejilla se instalan los filtros lavables de acuerdo con las especificaciones del fabricante.

Figura 49. Estado actual de la unidad manejadora (UCI)

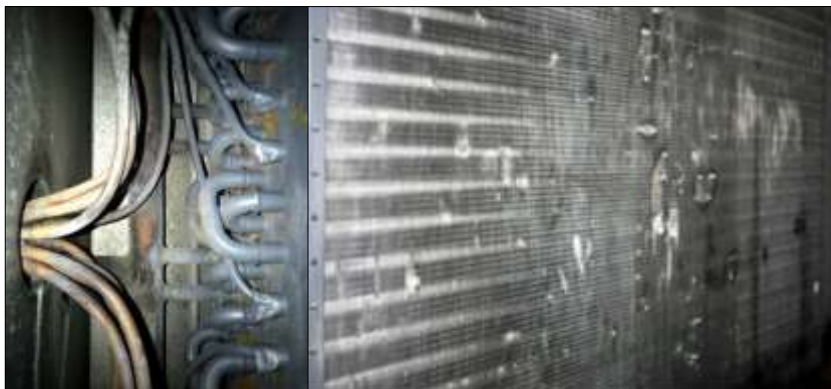


Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la información suministrada por el hospital, el sistema de filtración actualmente instalado para la limpieza el aire impulsado a la UCI, corresponde a un conjunto de 4 prefiltros del 35% de eficiencia (MERV) seguidos por 4 filtros de 65% (MERV) y dos filtros (HEPA) al 95%.

Gracias a que el sistema de control de inicio del sistema de refrigeración no funciona correctamente, se pudo reconocer el estado de estos desde su interior. La siguiente figura (siguiente página) corresponde al estado actual del serpentín evaporador en el interior de la manejadora, en la que se puede observar el mal estado de este por abolladura y deformación en las aletas.

Figura 50. Estado actual del interior de la unidad manejadora



Fuente: Elaboración propia

La figura 51 (lado izquierdo) corresponde al estado actual de la válvula de expansión, en la que se reconoce el mal estado el tubo capilar, por deformación, también, se puede evidenciar el estado actual del aislamiento en la línea de succión, además de la línea de descarga. (figura 51 lado derecho).

Figura 51. Estado actual de elementos de la unidad manejadora



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura (lado izquierdo, siguiente página) se nota el mal estado del sistema de drenaje de la unidad manejadora, en la que se reconocen regueros y contaminación, posiblemente esto se debe al mal estado de los sellos en la mima tubería, y tampoco está instalado correctamente el sistema de drenaje. Esto tiene consecuencias importantes en la generación de microorganismos por el estancamiento del agua condensada. También se evidencia elongación de las correas de transmisión de la unidad manejadora, esto se debe, posiblemente, a desalineamiento del eje conductor respecto al conducido.

Figura 52. Estado actual del interior de la unidad manejadora



Fuente: Elaboración propia

Finalmente se diligencio el formato de análisis de falla de los equipos, con el fin de precisar la información descrita en le visita técnica realizada.

Tabla 66. Formato de analisis de falla de equipos de la UCI

Equipo	Parte	Síntoma	Causa	Descripción
Unidad Condensadora	Serpentín condensador	Mal funcionamiento	Daño, Mtto. inapropiado	Deformación y abolladuras de aletas interiores y exterior
Unidad Condensadora	Compuerta inspección	Soltura, desajuste	Falta repuesto	Falta tornillería fijación compuertas de inspección
Unidad Condensadora	Gabinete	Soltura, desajuste	Falta repuesto	Falta tornillería de fijación soporte base
Unidad Condensadora	Sistema eléctrico	Soltura, desajuste	Instalación inapropiada	Cableado eléctrico mal distribuido al interior
Línea de succión	Aislador térmico	Rotura, desgaste	Mtto. inapropiado	Daño y desgaste aislamiento reemplazar
Compresor	Soporte base	Soltura, desajuste	Falta repuesto	Falta tornillería de fijación soporte base
Cuarto de equipos	Guarda control elec.	Soltura, desajuste	Instalación inapropiada	Instalación inapropiada de controles eléctricos equipos
Unidad manejadora	Serpentín	Mal funcionamiento	Daño, Mtto. inapropiado	Deformación y abolladuras de aletas
Unidad manejadora	Línea de drenaje	Reguero, suciedad	Daño de sellos	Mal estado de sellos e en acoples de tubería drenaje
Unidad manejadora	Transmisión	Elongación, vibración	Desalineación	Se ve elongación en correas de transmisión
Válvula de expansión	Capilar	Mal funcionamiento	Daño repuesto	Se observa deformación y mal estado el capilar

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Evaluación de parámetros de infraestructura de equipos. De acuerdo con el reconocimiento técnico descrito anteriormente se hizo la calificación de cumplimiento de infraestructura de equipos en la tabla 67, de acuerdo con el procedimiento de evaluación de infraestructura de estos.

Tabla 67. Calificación de la infraestructura de equipos de la UCI

Equipo	Ambiente	Acceso	Estado
Compresor	Cumple	No cumple	No cumple
Condensador	Cumple	No cumple	No cumple
Expansión	Cumple	No cumple	No cumple
Evaporador	Cumple	No cumple	No cumple
Cumplimiento:		33.3%	

Fuente: Elaboración propia

El resultado de cumplimiento obtuvo un valor de 33.3% debido a que las condiciones de accesibilidad a los equipos del sistema de refrigeración no son apropiadas, de igual forma, el estado actual de los ellos demuestra una condición ideal de los mismos, que, los equipos están instalados en un ambiente adecuado.

4.4 ANALISIS DE RESULTADOS UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS

El cumplimiento de la UCI, calculado en la tabla 68, se desarrolló considerando la calificación conseguida anteriormente para los aspectos del ambiente interior, el desempeño de equipos e infraestructura de equipos.

Tabla 68. Calificación del cumplimiento de la UCI

Parámetro	Valor
Calificación del ambiente interior	57.1%
Calificación de desempeño de equipos	96.5%
Calificación de infraestructura de equipos	33.3%
Cumplimiento:	62.3%
	Deficiente

Fuente: Elaboración propia

Con un valor de 62.3%, el cumplimiento de la UCI fue deficiente. Se resalta el poco cumplimiento de los estándares normativos que intervienen en el servicio de salud en el al interior de la UCI, adicionalmente, la evaluación técnica del desempeño de quipos indica que la capacidad instalada del sistema de climatización actual, no cumple con el sistema que debería estar instalado idealmente debido al cálculo de la carga térmica ideal, sin embargo los equipos se encuentran operando correctamente, por último, cabe recordar el mal estado de los equipos de climatización.

5. NEONATOLOGIA

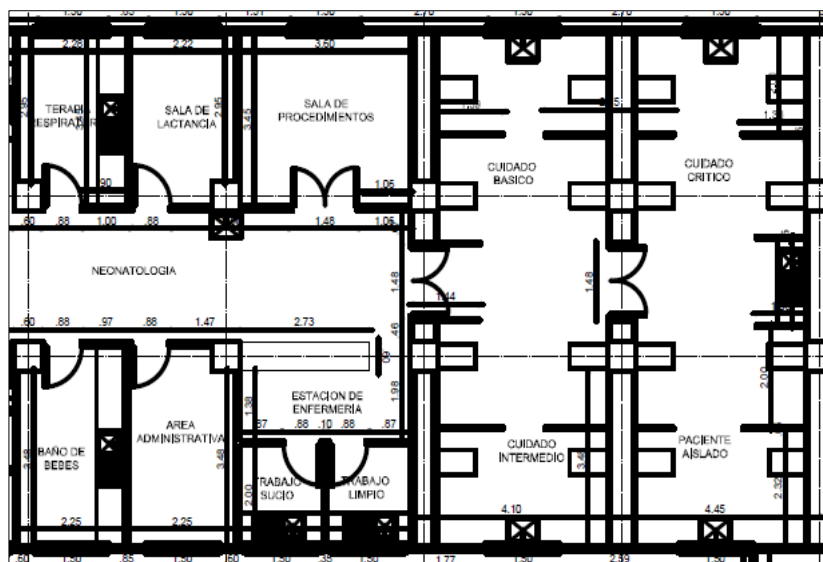
La unidad de neonatología corresponde al área de trabajo de enfermería dedicado al cuidado y recuperación de los recién nacidos, es una rama de la pediatría dedicada exclusivamente del tratamiento de enfermedades, asistencia y estudio de los seres humanos durante sus primeros días de vida.

5.1 EVALUACIÓN TÉCNICA DEL AMBIENTE INTERIOR

En esta sección, se hicieron los cálculos del estado actual del sistema de climatización que contribuye al bienestar térmico de los neonatos, así como el reconocimiento del estado actual de los equipos y ambientes interiores de esta unidad.

5.1.1 Estado actual de la sala de neonatos. En la siguiente figura se describe gráficamente la distribución de los cubículos de neonatología, adicionalmente se identifican las demás instalaciones que intervienen desde el trabajo de enfermería y demás áreas adyacentes.

Figura 53. Distribución de cubículos en Neonatología



Fuente: Información suministrada por el Hospital.

Los servicios de cuidado neonatal que actualmente se ofrecen en el hospital son:

- Cuidado Intensivo
- Cuidado Intermedio
- Cuidado Básico Neonatal

Estos servicios se relacionan con tareas de altos requerimientos asépticos, por lo que se relaciona directamente con un local de nivel I¹⁵², por esta razón, debe contar con 3 niveles de filtración, en el que la primer etapa debe contar con un filtro de clase F5, ubicado en la toma de aire exterior de la UMA; la segunda etapa de filtración debe ser un filtro F9, ubicado después de la UMA y al comienzo del conducto de impulsión de aire; la tercer etapa de filtración debe contar con un filtro clase H13, ubicado en la unidad terminal del conducto¹⁵³.

Cómo se observa en la figura 54 (lado izquierdo) en el pasillo que une los cubículos son la unidad de trabajo de enfermería, se notó el uso de una cortina de aire para el ingreso del personal y de los visitantes. En la misma figura (lado derecho) se observaron el estado actual y la ubicación del lavamanos en el interior de los cubículos de neonatología.

Figura 54. Lavado de manos y avisos de restricción



Fuente: Elaboración propia

La figura 55 muestra las rejillas de impulsión en el interior de los cubículos de neonatos, la razón por la cual no se tiene una puerta de control de ingreso del personal al pasillo, es porque el aire ambiente es compartido con otro cubículo con el mismo nivel de cuidado y requerimientos de limpieza.

Figura 55. Rejillas de impulsión a cubículos de neonatología



Fuente: Elaboración propia

¹⁵² ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, (AENOR). UNE 100713. Op cit., p. 5.

¹⁵³ Ibid., p. 6.

Como se puede observar la poca iluminación se debe a los procesos específicos que se realizan con los recién nacidos, con quienes no es recomendable el uso de iluminación artificial, sin embargo, la fototerapia es uno de los procesos en los que se necesitan equipos de última tecnología. Como se puede observar en la figura 56, este método se usa en gran cantidad de incubadoras, con el interés de controlar los niveles de bilirrubina en los neonatos.

Figura 56. Fototerapia aplicada en neonatología



Fuente: Elaboración propia

Durante la visita técnica, también se reconoció la unidad de cuidado intensivo neonatal (figura 57), donde no fue posible ingresar, sin embargo, se pudo notar que las puertas aíslan completamente al ambiente interior del resto del recinto, adicionalmente se puede evidenciar (figura 57, lado derecho) que el ambiente adyacente correspondiente a la unidad de cuidados intensivos y también tiene su propio ramal de impulsión.

Figura 57. Unidad de cuidado intensivo neonatal



Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la figura 58 (lado izquierdo, siguiente página), cada sección de cada cubículo cuenta con su toma eléctrica, tanto para la conexión de la incubadora, como de los demás equipos de monitoreo de signos vitales. Se puede ver que se usan los canastos de residuos peligrosos ubicados en cada cubículo de la unidad de neonatos (figura 58, lado derecho).

Figura 58. Accesorios en el interior de cubículos de neonatología



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura, se puede observar el uso de fototerapia en otras incubadoras. Tanto la temperatura como la humedad relativa (figura 59, lado derecho) en el interior de las incubadoras deben ser controladas con el fin de crear un ambiente ideal para el desarrollo de los recién nacidos; estos parámetros del aire ambiente en las incubadoras dependen del peso y edad del neonato.

Una incubadora con un alto nivel de humedad relativa puede manifestar condensación en sus superficies contenedoras, por esta razón se resalta que los niveles de limpieza en esta unidad deben ser estrictos, de acuerdo con los parámetros y normativas técnicas, con el fin de prevenir enfermedades y generación de macroorganismos o bioaerosoles.

Figura 59. Fototerapia en la unidad de neonatología



Fuente: Elaboración propia

Las incubadoras (figura 60, siguiente página) cuentan con unos paños en las compuertas de inspección, los cuales permiten la manipulación y tratamiento de los recién nacidos. Se notó que no se utilizan las precauciones adecuadas para dejar esta compuerta cerrada, lo que ocasiona que él bebe pueda quedar expuesto al aire ambiente común de los cubículos.

Figura 60. Compuertas en las incubadoras de neonatos



Fuente: Elaboración propia

Tabla 69. Dimensiones de los cubículos de neonatología

Largo [m]	Ancho [m]	Alto [m]	Área [m ²]	Vol. [m ³]
10.0	8.40	2.50	84.0	210.0

Fuente: Elaboración propia. Instrumento: Distanciómetro digital [Datos].

5.1.2 Parámetros de construcción. Los parámetros y especificaciones técnicas se contrastaron contra los datos obtenidos durante la visita técnica realizada a la unidad de neonatología, por esta razón, en este apartado se evaluaron los aspectos de diseño y de instalación de esta unidad.

5.1.2.1 Evaluación de parámetros de diseño. Los parámetros técnicos encontrados en la normativa tratan acerca del dimensionamiento y ubicación de los accesorios que complementan la unidad de neonatología, entre esos, están las tomas eléctricas para cada incubadora, los visores de puerta, las dimensiones de las puertas de acceso y el área mínima de trabajo neonatal.

Tabla 70. Evaluación de parámetros de diseño en neonatología Res. 4445

Parámetro	Variable	Ideal	Real	Unidad	Calificación
Visor puerta	Altura	1.40	1.40	m	Cumple
Puerta	Ancho	1.50	1.48	m	Cumple
Área mínima	Área	6.0	5.2	m ²	No cumple
Tomas eléctricas	Altura	1.40	1.40	m	Cumple
Cumplimiento:			75.0%		

Fuente: COLOMBIA, MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 4445. Diciembre 26. Bogotá D.C., 1996. p. 17.

5.1.2.2 Evaluación de parámetros de instalación de neonatología. Los parámetros de instalación en la unidad de neonatología están directamente relacionados, con los servicios auxiliares que deben conformar todo el proceso del cuidado de los recién nacidos.

Tabla 71. Evaluación de parámetros de instalación enfermería, Res. 4445

Parámetros	Calificación
Superficies Impermeables, sólidas y resistentes a factores ambientales	No cumple
Superficies lisas, libre de componentes tóxicos, irritantes o inflamables	No cumple
Superficies cubiertas con materiales lavables de fácil limpieza y desinfección	No cumple
Uniones entre paredes, techos y suelo con acabado en media caña	No cumple
Baño-Vestuario para cambio de ropa visitantes	Cumple
Baño-Vestuario para cambio de ropa personal	Cumple
Lavamanos quirúrgico	Cumple
Central de monitoreo	Cumple
Espera visitantes	Cumple
Oficina área administrativa	Cumple
Estación de incubadoras de transporte	No cumple
Zona para madres con baño	Cumple
Área de enfermería, trabajo limpio y sucio	Cumple
Sala de lactancia	Cumple
Descanso y dormitorio personal con baño	No cumple
Terapia respiratoria	Cumple
Preparación de formulas	Cumple
Lavado y esterilización	Cumple
Cumplimiento:	66.7%

Fuente: COLOMBIA, MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 4445. Diciembre 26. Bogotá D.C., 1996. p. 17.

Las superficies, accesorios y elementos de instalación como sillas y mesas en el interior de la unidad no cumplen con los requerimientos de limpieza establecidos por la normativa.

Las áreas de trabajo de enfermería no contaban con rejillas de impulsión ni extracción de aire, lo que indica que el equipo de climatización instalado solamente comprende el área de los cubículos de los recién nacidos.

En siguiente tabla se hizo la evaluación de los parámetros de instalación de las áreas adyacentes al trabajo de enfermería. Luego se calificaron los parámetros de instalación para los cubículos de cuidado intermedio.

Tabla 72. Evaluación de parámetros de instalación cubículos, Res. 2003

Parámetros	Calificación
Superficies Impermeables, sólidas y resistentes a factores ambientales	No cumple
Superficies lisas, libre de componentes tóxicos, irritantes o inflamables	No cumple
Superficies cubiertas con materiales lavables de fácil limpieza y desinfección	No cumple
Uniones entre paredes, techos y suelo con acabado en media caña	No cumple
Incubadoras correspondientes con la exigencia del servicio	Cumple
Tomas eléctricas para conexión de equipos	Cumple
Oxígeno por paciente y aire medicinal por paciente	Cumple
Área alrededor de la cama permite el paso de personas y equipos	Cumple
Camas de dos o tres plano, de acuerdo con el servicio prestado	Cumple
Monitores, bombas, pulsioxímetros y equipos de monitoreo	Cumple
Sistema de impulsión y extracción de aire	Cumple
Sistema anti-ruido en diseño mobiliario (puertas y cajones)	No cumple
Cumplimiento:	58.3%

Fuente: COLOMBIA, MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 2003. Mayo 28, 2014. p. 1.

Por último, la evaluación de los parámetros de instalación para los cubículos de aislamiento, en donde se desarrolla el cuidado intensivo a aquel que se encuentra completamente aislado por las puertas de control de acceso de personal identificadas anteriormente.

Tabla 73. Evaluación de parámetros de instalación aislamiento, Res. 2003

Parámetros	Calificación
Superficies Impermeables, sólidas y resistentes a factores ambientales	No cumple
Superficies lisas, libre de componentes tóxicos, irritantes o inflamables	No cumple
Superficies cubiertas con materiales lavables de fácil limpieza y desinfección	No cumple
Uniones entre paredes, techos y suelo con acabado en media caña	No cumple
Antecámara	No cumple
Baño independiente	No cumple
Incubadoras correspondientes con la exigencia del servicio	Cumple
Tomas eléctricas para conexión de equipos	Cumple
Oxígeno por paciente y aire medicinal por paciente	Cumple
Área alrededor de la cama permite el paso de personal y equipos	Cumple
Camas de dos o tres plano, de acuerdo con el servicio prestado	Cumple
Monitores, bombas, pulsioxímetros y equipos de monitoreo	Cumple
Sistema de impulsión y extracción de aire	Cumple
Sistema anti-ruido en diseño mobiliario (puertas y cajones)	No cumple
Cumplimiento:	50.0%

Fuente: COLOMBIA, MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 2003.

5.1.3 Parámetros de confort del ambiente interior. Para de la evaluación del ambiente interior, se identificaron los parámetros de confort del ambiente de la unidad de neonatos de acuerdo con cada normativa técnica.

Se resalta que la normativa UNE-EN 12464-1 no establece unos valores máximos de iluminación para lugares de trabajo, específicamente para la especialidad de neonatología. Durante la visita técnica realizada, cabe recordar que la iluminación de los cubículos donde se encuentran los neonatos estaba apagada.

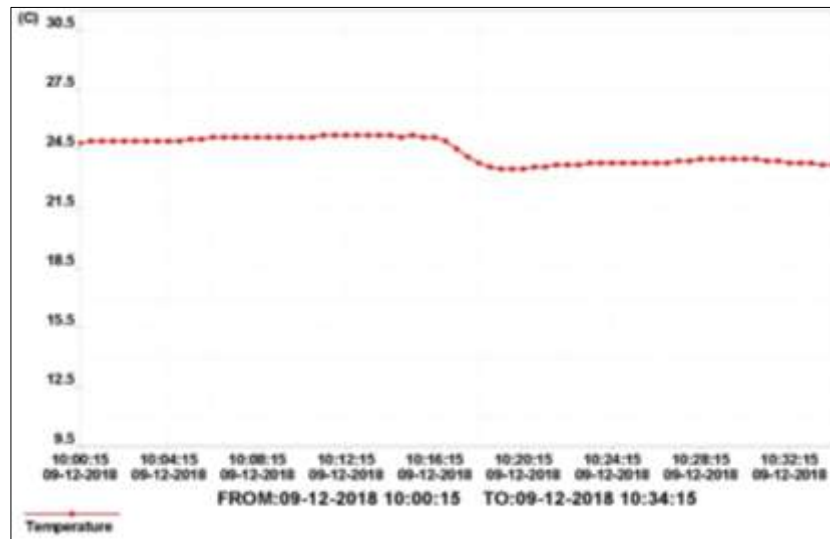
Cuadro 27. Parámetros de confort del dentro de neonatología

Var.	Descripción	Valor	Unid.	Normativa
T_r	Temperatura interior	24 a 26	°C	UNE 100713 ¹⁵⁴
HR_r	Humedad Relativa interior	45 a 55	%	
P	Presión	Positiva	-	ASHRAE ¹⁵⁵
-	Ruido	0 a 40	dB	UNE 100713 ¹⁵⁶
\bar{E}_m	Iluminación mantenida	N/A	lux	EN 12464-1 ¹⁵⁷
UGR_L	Deslumbramiento unificado	N/A	-	
R_a	Rendimiento de color	N/A	lux	

Fuente: Elaboración propia

5.1.3.1 Evaluación de la Temperatura (T) interior. Mediante el uso del dispositivo de registro de datos y humedad relativa (datallogger), se registraron los valores de temperatura al interior de los cubículos, los cuales corresponden al área de la unidad de neonatología que esta climatizada.

Gráfica 14. Curva de temperatura (T) de neonatología



Fuente: Elaboración propia. Software: RHT10 Graph V5.6.1. 2016 [Gráfica].

¹⁵⁴ ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, (AENOR). UNE 100713. Op cit., p. 21.

¹⁵⁵ KOENIGSHOFER, Dan. HVAC Design Manual for Hospitals and Clinics, Second Edition. 2nd ed. Atlanta, Ga: ASHRAE, 2013. ISBN: 978-1-936504-39-8. p. 77.

¹⁵⁶ ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, (AENOR). UNE 100713. Op cit., p. 21.

¹⁵⁷ ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, (AENOR). UNE-EN 12464-1. Op cit. p. 34.

La siguiente tabla arrojan los registros de temperatura.

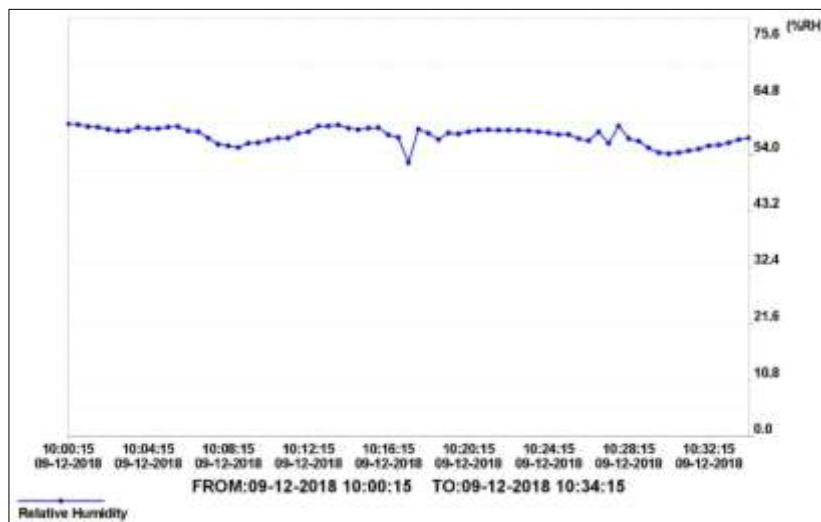
Tabla 74. Evaluación de la temperatura (T) en la unidad de neonatología

Medidas	-	Hora	T [°C]	-	Hora	T [°C]	-	Hora	T [°C]
	1	10:00	24.8	11	10:10	25.1	21	10:20	23.5
	2	10:01	24.9	12	10:11	25.2	22	10:21	23.6
	3	10:02	24.9	13	10:12	25.2	23	10:22	23.7
	4	10:03	24.9	14	10:13	25.2	24	10:23	23.8
	5	10:04	24.9	15	10:14	25.2	25	10:24	23.8
	6	10:05	25.0	16	10:15	25.2	26	10:25	23.8
	7	10:06	25.1	17	10:16	25.1	27	10:26	23.8
	8	10:07	25.1	18	10:17	24.5	28	10:27	23.9
	9	10:08	25.1	19	10:18	23.8	29	10:28	24.0
	10	10:09	25.1	20	10:19	23.5	30	10:29	24.0
Promedio		25.0		24.8		23.8			
Min	24	Cumple		Cumple		Cumple			
Max	26	Cumple		Cumple		Cumple			
General		Cumple		Cumple		Cumple			
Cumplimiento		100.0%							

Fuente: Elaboración propia

5.1.3.2 Evaluación de la Humedad Relativa (HR) interior. Simultáneamente a las mediciones de temperatura, se efectuó la medición de la humedad relativa en el interior de los cubículos, arrojando los datos mostrados en la siguiente gráfica:

Gráfica 15. Curva de humedad relativa (HR) de neonatología



Fuente: Elaboración propia. Software: RHT10 Graph V5.6.1. 2016 [Gráfica].

En la siguiente tabla se muestra la evaluación de la humedad relativa en el interior da la unidad de neonatos, a partir de los datos medidos durante la visita técnica.

Tabla 75. Evaluación de la humedad relativa (HR) en neonatología

Medidas	-	Hora	HR[%]	-	Hora	HR[%]	-	Hora	HR[%]		
	1	10:00	59.8	11	10:10	56.7	21	10:20	58.3		
	2	10:01	59.3	12	10:11	57.1	22	10:21	58.7		
	3	10:02	58.8	13	10:12	58.3	23	10:22	58.6		
	4	10:03	58.5	14	10:13	59.4	24	10:23	58.5		
	5	10:04	58.9	15	10:14	59.0	25	10:24	58.1		
	6	10:05	59.2	16	10:15	59.0	26	10:25	57.8		
	7	10:06	58.5	17	10:16	57.7	27	10:26	56.6		
	8	10:07	57.1	18	10:17	52.4	28	10:27	56.1		
	9	10:08	55.6	19	10:18	58.0	29	10:28	57.0		
	10	10:09	56.1	20	10:19	58.1	30	10:29	55.2		
Promedio			58.2				57.6				57.5
Min	45	Cumple			Cumple			Cumple			
Max	55	No cumple			No cumple			No cumple			
General			No cumple			No cumple			No cumple		
Cumplimiento:						0.0%					

Fuente: Elaboración propia

5.1.4 Análisis parcial de resultados. Los parámetros de evaluación parcial del ambiente interior de la unidad de neonatos, arrojó un resultado de 58.3%.

Tabla 76. Calificación del ambiente interior de neonatología

Ítem	Descripción	Valor	Unidad
1	Parámetros de diseño (cubículos)	75.0	%
2	Parámetros de instalación (estación enfermería)	66.7	%
3	Parámetros de instalación (cubículos)	58.3	%
4	Parámetros de instalación (cubículos aislamiento)	50.0	%
5	Evaluación de temperatura interior	100.0	%
6	Evaluación de humedad relativa	0.0	%
Cumplimiento:		58.3%	

Fuente: Elaboración propia

Se resalta el poco cumplimiento del ambiente interior de la unidad de neonatología, de los parámetros técnicos existentes, lo que indica un riesgo elevado por infecciones nosocomiales en la unidad de acuerdo con los parámetros del ambiente interior.

5.2 EVALUACIÓN TÉCNICA DE DESEMPEÑO DE EQUIPOS

Se realizó la evaluación ideal consecutivamente de la real, para los equipos y los ambientes de la unidad de neonatología a partir los cálculos de la generación de calor real e ideal, así como los cálculos de desempeño de los equipos de climatización.

5.2.1 Evaluación técnica del proceso real de climatización. A partir de los valores medidos de los parámetros del aire ambiente durante la visita técnica, se calculó la de densidad del aire exterior y del interior, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 77. Cálculo de la densidad del aire y variables ambientales

Variable	Descripción	Valor	Unidad
T_i	Temperatura exterior	26.5	°C
		299.65	K
HR_i	Humedad relativa exterior	59.9	%
P_{wsi}	P. de vapor de saturación exterior	3.483	kPa
ρ_i	Densidad exterior	0.9066	kg/m ³
T_r	Temperatura interior	23.5	°C
		298.65	K
HR_r	Humedad relativa interior	52.4	%
P_{wsr}	P. de vapor de saturación interior	2.905	kPa
ρ_r	Densidad interior	0.9158	kg/m ³
-	Altitud	2160	m.s.n.m.
P	Presión atmosférica	585	mmHg
		779.936	hPa
		77,993.697	Pa

Fuente: Elaboración propia

5.2.1.1 Cálculo de la carga térmica real por aire tratado (\dot{Q}_{Ra}). La siguiente tabla contiene el cálculo de la entalpia del aire ambiente exterior y del interior a partir de los valores de humedad relativa y temperatura de cada ambiente.

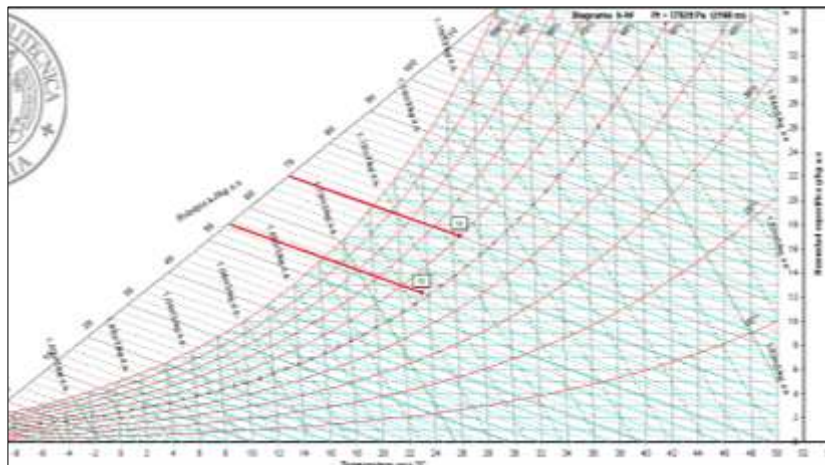
Tabla 78. Datos reales de entalpia

Etiqueta	T [°C]	HR [%]	h [kJ/kg]
h_i	26.5	59.9	70.1
h_r	23.5	52.4	55.1

Fuente: Elaboración propia. Software: SICRO, V2.1.2. 2017 [Datos].

La grafica 16 indica la entalpia de la tabla anterior, en la cual se ubicaron los valores de humedad relativa y temperatura de cada ambiente.

Gráfica 16. Curva de entalpia real del aire tratado de neonatos



Fuente: Elaboración propia. Software: SICRO, V2.1.2. 2017 [Datos]

Gracias a los datos obtenidos de las propiedades del aire de ambos ambientes, se calculó la carga térmica real por aire tratado

Tabla 79. Cálculo de la carga térmica real por aire tratado (\dot{Q}_{Ra})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
ρ_i	Densidad exterior	0.9066	kg/ m ³
V	Volumen interior	210.00	m ³
h_i	Entalpia ambiente infiltrado (exterior)	70.1	kJ/kg
h_r	Entalpia ambiente refrigerado (interior)	55.1	kJ/kg
n	Tiempo de ciclado	600	s
\dot{Q}_{Ra}	Carga térmica real por aire tratado	4.760	kW

Fuente: Elaboración propia

5.2.1.2 Cálculo de la carga térmica real por equipos misceláneos (\dot{Q}_{Re}). A partir de la visita técnica en las instalaciones y a la información suministrada por el hospital, se pudo determinar la generación de calor generada. Se determinaron los valores de capacidad eléctrica de cada equipo a partir del listado de estos suministrado por el personal del hospital, junto con la información reconocida durante la visita técnica.

En la siguiente tabla (siguiente página) se muestran los cálculos realizados para la generación de calor de los equipos misceláneos en el interior de los cubículos en la unidad de neonatología.

Tabla 80. Cálculo de la carga térmica real por equipos misceláneos (\dot{Q}_{Re})

ítem	Descripción	Cantidad	Valor [kW]
1	Analizador de gases	1	0.243
2	Aspirador	1	1.600
3	Bilirrubimetro	1	0.005
4	Bomba de infusión	16	0.720
5	Bomba jeringa	16	1.872
6	Capnografo	1	0.050
7	Central de monitoreo	1	0.180
8	Cpap. de burbuja	16	2.112
9	Equipo de órganos	2	0.000
10	Incubadora pediátrica	9	4.500
11	Lampara calor radiante	4	3.000
12	Lampara fototerapia	8	0.216
13	Monitor de signos vitales	16	1.872
14	Negatoscopio	1	0.011
15	Reanimador neonatal	3	0.351
16	Nevera	1	0.065
17	Ventilador	16	2.400
\dot{Q}_{Re}	Carga térmica equipos		19.196

Fuente: Elaboración propia

5.2.1.3 Cálculo de la carga térmica real debida a infiltraciones (\dot{Q}_{Ri}). La generación de calor debida por las infiltraciones del aire exterior se calculó así:

Tabla 81. Cálculo de la carga térmica real debida a infiltraciones (\dot{Q}_{Ri})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
P	Numero de pasillos de entrada	1	-
θ_p	Factor de tiempo de apertura de la entrada	60	s
θ_o	Tiempo permanencia puerta abierta	60	min
θ_d	Periodo de tiempo diario	24	h
D_t	Factor tiempo de apertura de entrada	0.042	-
ρ_i	Densidad del aire infiltrado	0.9066	Kg/m ³
ρ_r	Densidad del aire refrigerado	0.9158	Kg/m ³
F_m	Factor de densidad	0.997	-
A	Área de la entrada	2.96	m ²
g	Constante gravitacional	9.81	m/s ²
H	Altura de la entrada	2.00	m
q	Carga sensible y latente de refrigeración	3.973	kW
D_f	Factor de flujo de entrada	1.0	-
E	Efectividad de dispositivos de entrada	0.7	-
\dot{Q}_{Ri}	Carga térmica real debida a infiltraciones	0.650	kW

Fuente: Elaboración propia

5.2.1.4 Cálculo de carga térmica real por transmisiones de paredes (\dot{Q}_{Rk}). La tabla 81 contiene los cálculos realizados gracias a los datos obtenidos durante la visita técnica, donde se identificaron las dimensiones del ambiente interior, las temperaturas internas y externas, el tipo de superficie medianera entre ambos ambientes. El valor del coeficiente de transferencia de calor (K) se determinó a partir del reconocimiento del área medianera delimitada por cada pared evaluada. Del cuadro 10 se referenciaron los valores de K , para las paredes que delimitan ambientes adyacentes interiores ($K= 1.8\text{W}/\text{m}^2\text{K}$) y paredes que delimitan ambientes adyacentes exteriores ($K = 2.3\text{W}/\text{m}^2\text{K}$).

Tabla 82. Cálculo de carga térmica real por transmisiones de paredes (\dot{Q}_{Rk})

Vr.	Descripción	Norte	Sur	Este		Oeste		Unidad
		Pared	Pared	Pared	Vidrio	Pared	Vidrio	
K	Coef. t. calor	2.3	2.3	2.3	5.8	2.3	5.8	[W/m ² K]
A	Á. superficie	21.00	21.00	20.50	4.50	20.50	4.50	[m ²]
-	A. adyacente	Int.	Int.	Int.	Int.	Int.	Int.	-
T_i	T. exterior	26.5	26.5	26.5	26.5	26.0	26.0	[°C]
T_r	T. interior	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	[°C]
ΔT	Diferencia. T	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	[°C]
q_k	C. térmica	0.145	0.145	0.141	0.078	0.141	0.078	[kW]
\dot{Q}_{Rk}	C. por trans.						0.729	[kW]

Fuente: Elaboración propia

5.2.1.5 Cálculo de carga térmica real por ocupantes (\dot{Q}_{Ro}). En esta sección se determinó la generación de calor emitida por los ocupantes en los cubículos, incluyendo el personal de enfermería responsable de cuidado y asistencia de los recién nacidos.

Tabla 83. Cálculo de carga térmica real debida a los ocupantes (\dot{Q}_{Ro})

Variable	Descripción	Estancia	Valor	Unidad
q_p	Carga equivalente por persona	Huésped	0.073	kW
		Personal	0.176	kW
N_o	Número de personas	Huésped	9	-
		Personal	10	-
\dot{Q}_{Ro}	Carga térmica debida a los ocupantes		2.417	kW

Fuente: Elaboración propia

5.2.1.6 Cálculo de la carga térmica real debida a fuentes lumínicas (\dot{Q}_{Rf}). Durante la visita técnica al hospital, en la unidad de neonatología se identificaron la cantidad de fuentes lumínicas instaladas en cada cubículo, y la frecuencia y duración del uso

de estas. Como se mencionó anteriormente, en los cubículos, no se requiere el funcionamiento continuo de la iluminación, ya que, para el descanso y adecuada recuperación de los recién nacidos, se precisa mantener la luz apagada, esto se relacionó con el factor real de uso de iluminación (F_{ul}) con un valor de 0.3.

Tabla 84. Cálculo de la carga térmica real debida a fuentes lumínicas (\dot{Q}_{Rf})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
N_f	Numero de bombillos por cubículo	4	-
-	Número de cubículos	4	-
$Watts$	Capacidad de fuente lumínica	32	W
W	Capacidad total de iluminación	1,024	W
F_{ul}	Factor real de uso de iluminación	0.3	-
F_{sa}	Factor real de tolerancia especial	1.3	-
\dot{Q}_{Rf}	Carga real debida a las fuentes lumínicas	0.399	kW

Fuente: Elaboración propia

5.2.1.7 Cálculo de carga térmica real total (\dot{Q}_{RT}). Finalmente se realizo el calculo de las cargas termicas reales que se generan en los cubiculos, actualmente cliantizados donde se encuentran los recién nacidos. En la siguiente tabla se reunieron todos los datos obtenidos para obtener la carga térmica real total (\dot{Q}_{RT}).

Tabla 85. Cálculo de carga térmica real total (\dot{Q}_{RT})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
\dot{Q}_a	Carga térmica por aire tratado	4.760	kW
\dot{Q}_{Re}	Carga térmica debida a equipos	19.196	kW
\dot{Q}_{Ri}	Carga térmica debida a infiltraciones	0.050	kW
\dot{Q}_{Rt}	Carga térmica por transmisiones	0.729	kW
\dot{Q}_{Ro}	Carga térmica debida a los ocupantes	2.417	kW
\dot{Q}_{Rf}	Carga térmica debida fuentes lumínicas	0.399	kW
\dot{Q}_{RT}	Carga térmica total	27.552	kW

Fuente: Elaboración propia

5.2.1.8 Desempeño real de equipos. Gracias al reconocimiento realizado durante la visita técnica, y a la información técnica de los equipos suministrada por el hospital, se identificaron las características principales de los equipos actualmente instalados, como se muestra en el siguiente cuadro (siguiente página).

Cuadro 28. Denominación de equipos de neonatología instalados

Equipo	Modelo	Marca	Refrigerante
Unidad condensadora	TECAM	ILVT1416.C	R22
Unidad manejadora	TECAM	7030467	

Fuente: Elaboración propia

Para el equipo de climatización en cuestión, se realizó la medición, del ciclo de refrigeración por compresión de vapor y se obtuvieron los siguientes datos:

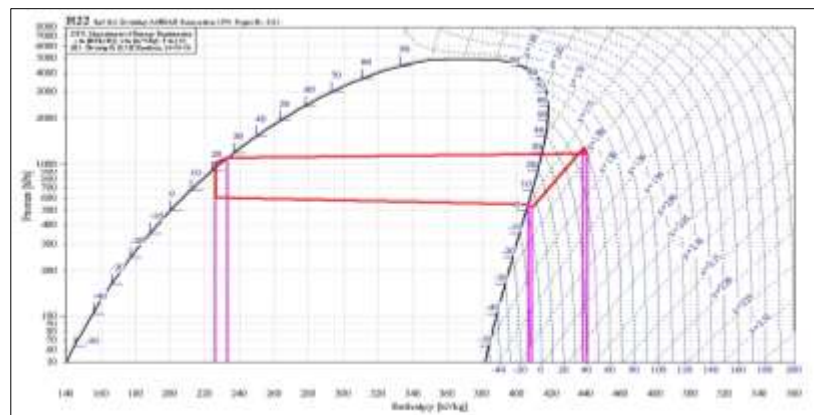
Tabla 86. Parámetros reales del sistema con refrigerante R22

Etapa	Punto	T [°C]	P [kPa]	h [kJ/kg]
Compresión	1	5.7	596.68	408.75
	2	45.6	1753.66	438.79
Condensación	3	43.9	1684.52	445.14
	4	25.5	1058.05	233.18
Expansión	5	22.3	969.87	225.76
	6	2.3	535.95	226.09
Evaporación	7	2.5	539.39	226.09
	8	3.4	555.07	406.05

Fuente: Elaboración propia

Mediante el uso del diagrama de Mollier, se determinaron las entalpias del sistema en cada uno de los puntos medidos, se conocían la temperatura, la presión y el tipo de refrigerante utilizado actualmente, a partir de esta información, se pudo trazar la curva real del sistema de climatización para el equipo instalado en neonatología.

Gráfica 17. Curva real del sistema de refrigeración en neonatos



Fuente: Elaboración propia con base en diagrama de Mollier.
Software: Coolpack, versión 1.5, Refrigeration utilities
[Grafica]

Posteriormente se procedió a calcular los parámetros reales de desempeño de los equipos actualmente instalados como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 87. Cálculo de los parámetros de desempeño reales de equipos

Variable	Descripción	Valor	Unidad
w_{Rcom}	Potencia térmica real del compresor	30.040	kJ/kg
q_{Rcon}	Potencia térmica real del condensador	213.030	kJ/kg
ER_R	Potencia térmica real del evaporador	182.660	kJ/kg
Q_{RT}	Carga térmica real total	27.552	kW
\dot{m}_r	Flujo másico real	0.1508	Kg/s
\dot{W}_{Rcom}	Potencia térmica real del compresor	4.531	kW
\dot{Q}_{Rcom}	Potencia térmica real del condensador	31.971	kW
COP_R	Coficiente real de rendimiento	7.056	-
EER_R	Factor real de eficiencia energética	6.081	-

Fuente: Elaboración propia

5.2.2 Evaluación técnica proceso ideal de climatización. Para esta evaluación se consideraron los escenarios, condiciones, y cantidades críticas de las variables que intervienen en el proceso, tales como cantidad de personas, temperatura y humedad relativa, entre otras.

Tabla 88. Cálculo de la densidad del aire y los parámetros ambientales

Variable	Descripción	Valor	Unidad
T_i	Temperatura exterior	32.0	°C
		305.15	K
HR_i	Humedad relativa exterior	86.0	%
P_{wsi}	P. de vapor de saturación exterior	4.759	kPa
ρ_i	Densidad exterior	0.8902	kg/m ³
T_r	Temperatura interior	24	°C
		297.15	K
HR_r	Humedad relativa interior	50	%
P_{wsr}	P. de vapor de saturación interior	2.98512	kPa
ρ_r	Densidad interior	0.9142	kg/m ³
P	Presión atmosférica	77993.597	Pa

Fuente: Elaboración propia

5.2.2.1 Cálculo de la carga térmica ideal por aire tratado (\dot{Q}_{Ia}). Se determinaron inicialmente los valores de entalpía para las condiciones del ambiente interior y exterior ideales a través de la tabla 89 (siguiente página).

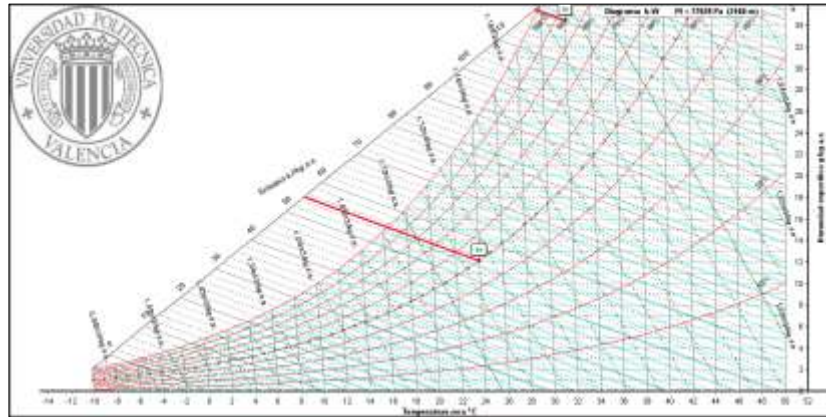
Tabla 89. Datos ideales de entalpia

Etiqueta	T [°C]	φ [%]	h [kJ/kg]
h_i	32	86.0	120.5
h_r	24	50.0	55.1

Fuente: Elaboración propia. Software: SICRO, V2.1.2. 2017 [Datos].

Posteriormente, los datos fueron trazados en la carta psicrométrica corregida para las condiciones atmosféricas de la ciudad de Manizales, como se muestra en la gráfica 18.

Gráfica 18. Curva de entalpia ideal del aire tratado de neonatos



Fuente: Elaboración propia. Software: SICRO, V2.1.2. 2017 [Datos]

Con los parametros criitcos ideales del aire ambiente interior y exterior, se determino la carga termica ideal por aire tratado (\dot{Q}_{Ia})

Tabla 90. Cálculo de carga térmica ideal por aire tratado (\dot{Q}_{Ia})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
ρ_i	Densidad exterior	0,8902	kg/ m ³
V	Volumen	210.00	m ³
h_i	Entalpia ambiente infiltrado (exterior)	120.5	kJ/kg
h_r	Entalpia ambiente refrigerado (interior)	55.1	kJ/kg
n	Tiempo de ciclado	600	s
\dot{Q}_{Ia}	Carga térmica ideal por aire tratado	20.377	kW

Fuente: Elaboración propia

5.2.2.2 Cálculo de la carga térmica ideal por equipos misceláneos (\dot{Q}_{Ie}). En este apartado se utilizó el mismo valor calculado que en el proceso real, ya que la carga térmica real por equipos (\dot{Q}_{re}) fue determinada con equipos de última tecnología que cumplen con las necesidades del servicio prestado, es decir, tanto la ganancia de calor real como la ideal fueron las mismas.

Tabla 91. Cálculo de la carga térmica ideal por equipos misceláneos (\dot{Q}_{Ie})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
\dot{Q}_{Ie}	Carga térmica equipos	19.196	kW

Fuente: Elaboración propia

5.2.2.3 Cálculo de la carga térmica ideal debida a infiltraciones (\dot{Q}_{Ii}). De acuerdo con la ASHRAE¹⁵⁸, idealmente el quirófano debe tener una presión positiva en relación con las áreas adyacentes, por esta razón, no se determinó la generación de calor debida a infiltraciones entre puertas y ventanas.

5.2.2.4 Cálculo de carga térmica ideal por transmisiones de paredes (\dot{Q}_{Ik}). Para el cálculo de esta carga térmica, se utilizaron los mismos parámetros de diseño en el interior de los cubículos, sin embargo, este cálculo se fundamentó en los parámetros ambientales críticos en los cuales se puede generar esta ganancia de calos en la unidad de neonatología.

Tabla 92. Cálculo de carga térmica ideal por transmisiones de paredes (\dot{Q}_{Ik})

Vr.	Descripción	Norte		Sur		Este		Oeste		Unidad
		Pared	Pared	Pared	Vidrio	Pared	Vidrio			
K	Coef. t. calor	2.3	2.3	2.3	5.8	2.3	5.8	[W/m ² K]		
A	Á. superficie	21.00	21.00	20.50	4.50	20.50	4.50	[m ²]		
-	A. adyacente	Int.	Int.	Int.	Int.	Int.	Int.	-		
T_i	T. exterior	32	32	32	32	32	32	[°C]		
T_r	T. interior	24	24	24	24	24	24	[°C]		
ΔT	Diferencia. T	8	8	8	8	8	8	[°C]		
q_k	C. térmica	0.386	0.386	0.377	0.209	0.377	0.209	[kW]		
\dot{Q}_{Ik}	C. por trans.						1.945	[kW]		

Fuente: Elaboración propia

El valor del coeficiente de transferencia de calor (K) se determinó a partir del reconocimiento del área medianera delimitada por cada pared evaluada. Del cuadro

¹⁵⁸ ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Standard 170 Ventilation of Health Care Facilities. 2008 ISBN: 1031-2336. p. 9.

10 se referenciaron los valores de K , para las paredes que delimitan ambientes adyacentes interiores ($K= 1.8\text{W}/\text{m}^2\text{K}$), paredes que delimitan ambientes adyacentes exteriores ($K = 2.3\text{W}/\text{m}^2\text{K}$) y vidrios medianeros con ambientes exteriores ($K = 5.8\text{W}/\text{m}^2\text{K}$).

5.2.2.5 Cálculo de la carga térmica ideal por ocupantes (\dot{Q}_{Io}). Se verificó la capacidad máxima de incubadoras donde el personal que acompaña cada una se compone de pediatras, médicos, enfermeras y madres, para asistir a los huéspedes, los recién nacidos. El cálculo de la carga térmica ideal por ocupantes se desarrolló de la siguiente manera:

Tabla 93. Cálculo de la carga térmica ideal por ocupantes (\dot{Q}_{Io})

Variable	Descripción	Estancia	Valor	Unidad
q_p	Carga equivalente por persona	Huésped	0.073	kW
		Personal	0.176	kW
N_o	Número de personas	Huésped	16	-
		Personal	15	-
\dot{Q}_{Io}	Carga térmica debida a los ocupantes		3.808	kW

Fuente: Elaboración propia

5.2.2.6 Cálculo de la carga térmica ideal debida a fuentes lumínicas (\dot{Q}_{If}). La norma UNE-EN 12464-4 no establece unos requerimientos lumínicos para las salas de neonatos, adicionalmente en la visita técnica se observó que las fuentes lumínicas se mantienen normalmente apagadas, por esta razón este cálculo se obtiene a partir del resultado obtenido en la carga térmica real debida a fuentes lumínicas (\dot{Q}_{rf}).

Tabla 94. Cálculo de la carga térmica ideal debida a fuentes lumínicas (\dot{Q}_{If})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
\dot{Q}_{If}	Carga real debida a las fuentes lumínicas	0.399	kW

Fuente: Elaboración propia

5.2.2.7 Cálculo de carga térmica ideal total (\dot{Q}_{IT}). Por ultimo se determino la carga termica total a traves del calculo mostrado en la siguiente tabla (siguiente página):

Tabla 95. Cálculo de la carga térmica ideal total (\dot{Q}_{IT})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
\dot{Q}_{Ia}	Carga térmica por aire tratado	20.377	kW
\dot{Q}_{Ie}	Carga térmica debida a equipos	19.196	kW
\dot{Q}_{Ii}	Carga térmica debida a infiltraciones	0	kW
\dot{Q}_{Ik}	Carga térmica por transmisiones	1.945	kW
\dot{Q}_{Io}	Carga térmica debida a los ocupantes	3.808	kW
\dot{Q}_{If}	Carga térmica debida fuentes lumínicas	0.399	kW
\dot{Q}_{IT}	Carga térmica ideal total	45.725	kW

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.8 Desempeño ideal de equipos. Gracias a la determinación de la carga térmica ideal, se identificaron los parámetros iniciales de desempeño ideal de equipos como se muestra en el cuadro 29.

Cuadro 29. Parámetros del desempeño ideal de equipos

Variable	Descripción	Valor	Unidad
P_L	Presión de succión	556.774	kPa
P_H	Presión de descarga	1366.524	kPa
	Refrigerante	R22	

Fuente: Elaboración propia.

A partir de estos datos, los puntos de la curva ideal del sistema fueron registrados en la siguiente tabla:

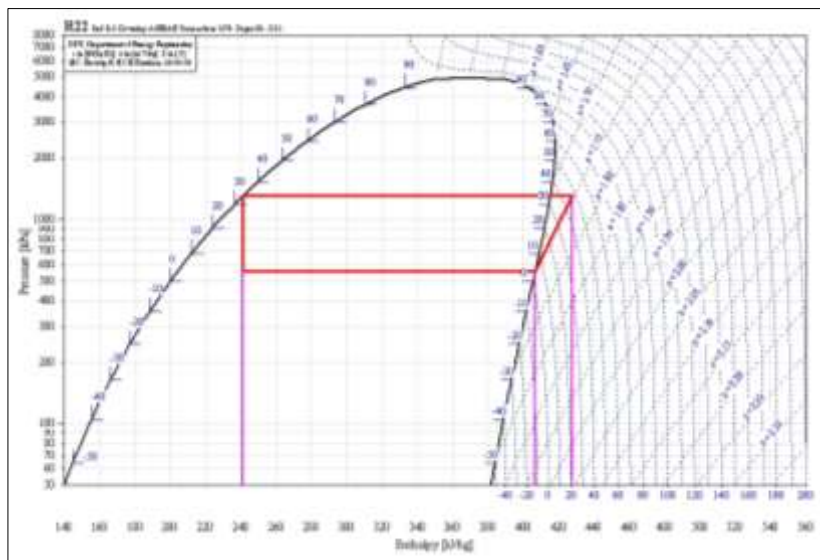
Tabla 96. Parámetros ideales del sistema con refrigerante R22

Punto	Temperatura [°C]	Presión [kPa]	Entalpia [kJ/kg]
1	3.5	556.774	406.4
2	47.4	1366.524	427.3
3	33.4	1366.524	241.0
4	3.5	556.774	241.0

Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos ideales obtenidos por el sistema ideal de refrigeración por compresión de vapor, se trazó la curva ideal como se observa en la gráfica 19 (siguiente página).

Gráfica 19. Curva ideal del sistema de refrigeración de neonatos



Fuente: Elaboración propia con base en diagrama de Mollier.
Software: Coolpack, versión 1.5, Refrigeration utilities
[Grafica]

Por último, la siguiente tabla contiene el procedimiento de cálculo sobre el cual se determinaron los parámetros ideales de desempeño de equipos.

Tabla 97. Cálculo de los parámetros de desempeño ideales de equipos

Variable	Descripción	Valor	Unidad
w_{Icom}	Potencia térmica ideal del compresor	20.900	kJ/kg
q_{Icon}	Potencia térmica ideal del condensador	186.300	kJ/kg
ER_i	Efecto refrigerante ideal	165.400	kJ/kg
Q_{iT}	Carga térmica ideal total	45.725	kW
\dot{m}_i	Flujo másico ideal	0.277	Kg/s
\dot{W}_{Icom}	Potencia térmica ideal del compresor	5.780	kW
\dot{Q}_{Icon}	Potencia térmica ideal del condensador	51.521	kW
COP_I	Coficiente ideal de rendimiento	8.914	-
EER_I	Factor ideal de eficiencia energética	7.914	-

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3 Análisis parcial de resultados. Por último, se determinó el porcentaje parcial de cumplimiento en el desempeño real de los equipos, con respecto a los parámetros ideales.

Tabla 98. Calificación del desempeño de equipos de neonatología

Variable	Descripción	Valor	Unidad
\dot{Q}_{eva}	Capacidad real del evaporador	27.552	kW
\dot{Q}_{IT}	Carga térmica ideal total	45.725	kW
%C.	Cumplimiento	60.25	%
COP_R	Coeficiente real de rendimiento	7.056	-
COP_I	Coeficiente ideal de rendimiento	8.914	-
%C.	Cumplimiento	79.16	%
EER_R	Factor real de eficiencia energética	6.081	-
EER_I	Factor ideal de eficiencia energética	7.914	-
%C.	Cumplimiento	76.83	%
Cumplimiento:		72.1%	

Fuente: Elaboración propia

La siguiente tabla, relaciona el consumo eléctrico actual, que es un 21.6% menor que el consumo eléctrico del sistema de climatización, funcionando en condiciones ideales.

Tabla 99. Comparación entre el consumo eléctrico real y el ideal

Variable	Descripción	Valor	Unidad
P_{elecR}	Consumo real compresor	4.531	kW
P_{elecI}	Consumo ideal compresor	5.780	kW

Fuente: Elaboración propia

5.3 EVALUACIÓN TÉCNICA DE INFRAESTRUCTURA DE EQUIPOS

En esta sección se hizo la evaluación técnica del estado actual de los equipos instalados en el hospital y que están encargados de la climatización de la unidad de neonatología, a partir de los aspectos de infraestructura, instalación y mantenimiento de estos.

5.3.1 Estado actual de los equipos. La figura 61 (lado izquierdo, siguiente página) corresponde al conjunto de equipos de climatización que están instalados en la cubierta (azotea) del hospital. En esta figura (lado derecho) se puede observar el mal estado del sistema eléctrico de la unidad condensadora, después de quitarle la guarda de seguridad.

Figura 61. Estado actual de los equipos de neonatología



Fuente: Elaboración propia

En la figura 62 (lado izquierdo) Se visualiza el interior de la misma unidad, y el estado actual de las válvulas de servicio (figura 62, lado derecho).

Figura 62. Unidad condensadora (interior) y valvulas de servicio



Fuente: Elaboración propia

En aislamiento de la línea de baja se vio que estaba desgastado, sin embargo, no estaba roto en ningún tramo de la tubería. Adicionalmente, se observa el estado actual de la línea de drenaje de la unidad manejadora (figura 63, lado derecho, siguiente página)

Figura 63. Unidad manejadora de neonatología



Fuente: Elaboración propia

Después de reconocer los elementos que componen la unidad manejadora, se puso de manifiesto la ausencia de tornillería en el soporte de la base del motor de la transmisión (figura 64, lado izquierdo), posteriormente se observó que la junta flexible a la salida del ventilador no está sellada a la entrada del ducto de impulsión de aire, presentado fugas y caídas de presión.

Figura 64. Ventilador de unidad manejadora de neonatología



Fuente: Elaboración propia

En el interior de la manejadora, se reconoció el estado actual del evaporador en el que se evidenció mal estado el serpentín por abolladuras en las aletas de este, como se muestra en la figura 65.

Figura 65. Evaporador de la unidad manejadora



Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la figura 66, tras el reconocimiento de las etiquetas en los prefiltros de 65% de eficiencia a la entrada de la manejadora se notó que estos no se cambian desde el 09 de agosto de 2017, ya que la norma establece que deben ser cambiados anualmente.

Figura 66. Estado actual de los filtros en UMA neonatos



Fuente: Elaboración propia

Como se evidencia en la figura 67, los filtros HEPA se encuentran ubicados a la salida de la unidad manejadora, estos no pudieron ser inspeccionados, sin embargo, las guardas de protección en el ducto presentan desajuste y fuga por falta de tornillería, afectando la eficiencia de los filtros utilizados para la unidad de neonatos.

Figura 67. Filtros HEPA y compuertas de inspección



Fuente: Elaboración propia

Gracias al análisis del estado actual de los equipos, se elaboró el siguiente formato de análisis de falla (tabla 100) basado en la condición de estos.

Tabla 100. Formato de analisis de falla de equipos de neonatología

Equipo	Parte	Síntoma	Causa	Descripción
Unidad Condensadora	Sistema eléctrico	Soltura, desajuste	Instalación inapropiada	Cableado eléctrico mal distribuido al interior
Unidad manejadora	Válvula de expansión	Deterioro	Daño repuesto	Mal estado del sistema capilar de la válvula de expansión
Línea de succión	Aislador térmico	Rotura, desgaste	Mtto. inapropiado	Daño y desgaste aislamiento reemplazar
Unidad manejadora	Transmisión	Soltura, desajuste	Falta repuesto	Falta tornillería de fijación soporte base motor
Unidad manejadora	Serpentín	Mal funcionamiento	Daño, Mtto. inapropiado	Deformación y abolladuras de aletas del evaporador
Línea de impulsión	Filtros HEPA	Soltura desajuste	Falta repuesto	Falta tornillería fijación guardas de filtros en ducto

Fuente: Elaboración propia

5.3.2 Evaluación de parámetros de infraestructura de equipos. Por último, se relacionó el estudio del estado actual de los equipos realizado con el procedimiento de cálculo de calificación de cumplimiento con el que se calificaron el ambiente instalado, la accesibilidad y el estado actual de los equipos (tabla 101).

Tabla 101. Calificacion de la infraestructura de equipos de neonatología

Equipo	Ambiente	Acceso	Estado
Compresor	Cumple	No cumple	No cumple
Condensador	Cumple	No cumple	No cumple
Expansión	Cumple	No cumple	No cumple
Evaporador	Cumple	No cumple	No cumple
Cumplimiento:		33.3%	

Fuente: Elaboración propia

5.4 ANALISIS DE RESULTADOS DE NEONATOLOGIA

El cumplimiento general de la unidad de neonatología, se determinó mediante la siguiente tabla, donde se relacionó la calificación del ambiente interior y la calificación de desempeño e infraestructura de equipos.

Tabla 102. Calificación del cumplimiento de neonatología

Parámetro	Valor
Calificación del ambiente interior	58.3%
Calificación de desempeño de equipos	96.5%
Calificación de infraestructura de equipos	33.3%
Cumplimiento:	62.7%
	Deficiente

Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo un valor de 62.7% de cumplimiento, en relación con los parámetros técnicos y normativas vigentes para el manejo de la climatización en la unidad de recién nacidos, ya que las condiciones evaluadas del ambiente interior de las instalaciones no cumplen con los requerimientos de limpieza y calidad del aire. Adicionalmente, la infraestructura de los equipos representa un aspecto que requiere atención por parte de la central de mantenimiento del hospital.

6. IMAGENOLOGIA

Este servicio corresponde al centro destinado a la consecución de imágenes que complementan el diagnóstico de los usuarios, mediante la atención y tratamiento de los síntomas que estos manifiestan al ingresar a las instalaciones.

6.1 EVALUACIÓN TÉCNICA DEL AMBIENTE INTERIOR

En esta sección, se hizo la evaluación técnica de la climatización de la unidad de imágenes diagnósticas y los aspectos relacionados con la limpieza y mantenimiento del ambiente interior del servicio, así como los parámetros del ambiente interior.

6.1.1 Estado actual de las salas de imágenes diagnosticas. La figura 68 representa la distribución actual de la unidad de imagenología, en el primer piso del hospital del hospital, donde se encuentran las áreas adyacentes, las rutas de acceso y los servicios prestados por la unidad de imágenes diagnosticas.

Figura 68. Distribución de la planta física para imagenología



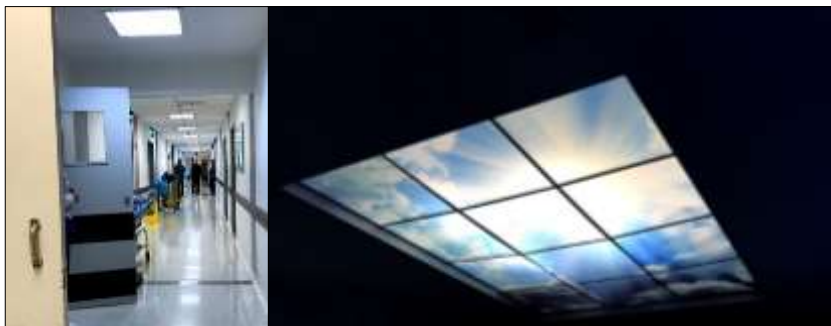
Fuente: Información suministrada por el Hospital.

Por tratarse de un local con exigencias sanitarias habituales, está clasificado como un local clase II, ¹⁵⁹, por esta razón, debe contar con 2 niveles de filtración, en el que la primera etapa debe contar con un filtro de clase F5, ubicado en la toma de aire exterior de la UMA y la segunda etapa de filtración debe ser un filtro F9, ubicado después de la UMA y al comienzo del conducto de impulsión de aire.

A lo largo del pasillo se identificaron las puertas de ingreso a las salas de examen donde están instalados los equipos de diagnóstico, se resaltó que muchas de estas puertas no cuentan con controles de apertura y cierre y se encontraban completamente abiertas, aun cuando este pasillo comparte el aire ambiente con el exterior del hospital. Como se observa en la figura 69, se reconoció el pasillo de la unidad diagnóstica (lado izquierdo, siguiente página), en donde se pueden evidenciar las puertas completamente abiertas, demás, se nota la iluminación utilizada en una de las salas de examen.

¹⁵⁹ ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, (AENOR). UNE 100713. Op cit., p. 5.

Figura 69. Sistema de iluminación y pasillo imagenología



Fuente: Elaboración propia

La figura 70 (lado izquierdo), demuestra el estado actual de los sistemas de refrigeración a través de las rejillas de impulsión, también se reconocieron los equipos de alta tecnología con los que se desarrollan las actividades de diagnóstico.

Figura 70. Rejillas de impulsión y equipos de diagnostico



Fuente: Elaboración propia

El equipo identificado en la figura 70 (lado derecho) corresponde a un Tomógrafo Philips Ingenuity Core¹²⁸ cuyas especificaciones de operación se registraron en el siguiente cuadro.

Cuadro 30. Parámetros de operación Philips Ingenuity Core¹²⁸

Ambiente	Temperatura [°C]	Humedad Relativa [%]	Carga térmica [BTU/h]
Sala de examen	18 a 24	35 a 70	18,000
Cuarto de control	15 a 24	10 a 90	5,782

Fuente: Elaboración propia

El sistema de refrigeración en la sala de examen del tomógrafo axial comprende además un sistema de extracción de aire mostrado en la figura 71 (siguiente página), el cual está ubicado en la parte posterior del equipo de diagnóstico.

Figura 71. Rejillas extracción de aire y equipo de diagnóstico



Fuente: Elaboración propia

En el cuarto de impresión y control (figura 72) se identificaron las rejillas de impulsión que también contribuyen a la crimatización en esta área. Aquí se desarrollan actividades de impresión y control de los equipos.

Figura 72. Cuarto de control de equipos de diagnóstico



Fuente: Elaboración propia

Como se mencionó anteriormente, las puertas de ingreso a las salas de examen deben ser cerradas manualmente (figura 73, siguiente página), lo que implica que el aire controlado en el interior de los recintos se mezcle fácilmente con el aire exterior. en la figura 73 (lado derecho) se vieron los elementos de aseo que se reconocieron en todas las salas de examen.

Figura 73. Puertas de ingreso de personal y elementos de aseo



Fuente: Elaboración propia

En la sala de diagnóstico de rayos x (figura 74) se realizó el reconocimiento de los equipos actualmente utilizados para prestar el servicio, posteriormente se identificaron los parámetros de operación del equipo a través del siguiente cuadro.

Cuadro 31. Parámetros de operación RX Philips Optimus 50

Ambiente	Temperatura [°C]	Humedad Relativa [%]	Carga térmica [kW]
Sala de examen	10 a 40	15 a 90	41.2

Fuente: Elaboración propia

Figura 74. Sala de examen Rayos X



Fuente: Elaboración propia

En el cuarto de examen a través de rayos X, se estudiaron el estado actual del guarda escobas y los aspectos locativos como la pintura de paredes y mantenimiento de superficies medianeras.

Figura 75. Aspectos locativos del servicio de imagenología



Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente se observaron las guardas que contienen las conexiones eléctricas de los equipos instalados en las salas (figura 76, lado izquierdo) las cuales cumplen el papel de cubrir las instalaciones eléctricas de manera que no se afecten el espacio y la accesibilidad de los huéspedes.

Figura 76. Elementos interiores de Rayos X 1



Fuente: Elaboración propia

Los equipos de la sala de Rayos X 2 fueron reconocidos al igual que los elementos de control y monitoreo de los exámenes (figura 77), se resalta que no fue posible conocer las especificaciones técnicas de este equipo de diagnóstico, ya que el hospital no pudo suministrar el catálogo del equipo. Este servicio de diagnóstico corresponde a un equipo Phillips Diagnost 66.

Figura 77. Phillips Diagnost 66 y central de control de examen



Fuente: Elaboración propia

A partir de la visita técnica realizada, y a la información suministrada por el hospital, se registraron las dimensiones de las salas de examen que muestra la siguiente tabla:

Tabla 103. Dimensiones de los salas de imagenología

Quirófano	Largo [m]	Ancho [m]	Área [m]	Alto [m]	Vol. [m³]
Tomógrafo	7.96	5.08	2.8	22.29	113.22
Rayos X 1	7.54	5.08	2.8	21.11	107.25
Rayos X 2	4.24	5.08	2.8	11.87	60.31
C. equipos	4.39	2.2	2.5	10.98	24.15

Fuente: Elaboración propia. Instrumento: Distanciómetro Leica DISTO E7500i [Datos].

6.1.2 Parámetros de construcción. De acuerdo con la normativa vigente y los parámetros técnicos se determinaron los parámetros de construcción relacionados con las salas limpias que prestan el servicio de imágenes diagnósticas.

6.1.2.1 Evaluación de parámetros de diseño de imagenología. Gracias al reconocimiento en campo realizado en la visita técnica se pudo contrastar el dimensionamiento de las salas de examen contra los parámetros de diseño, como se muestra en la siguiente tabla, se utilizó la sala de examen correspondiente al resonador, que es el equipo médico más crítico cuya sala tiene las dimensiones más grandes de acuerdo con la tabla 103.

Tabla 104. Evaluación de parámetros de diseño en imagenología Res. 4445

Parámetro	Variable	Ideal	Real	Unidad	Calificación
Área mínima	Área	20.00	22.29	m ²	No cumple
Ancho mínimo	Longitud	3.80	5.62	m	Cumple
Altura cielo raso	Longitud	2.60	2.80	m	Cumple
Altura puertas	Longitud	2.10	2.00	m	No cumple
Ancho pasillos	Longitud	1.40	2.08		Cumple
Cumplimiento:		60.0%			

Fuente: COLOMBIA, MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 4445. Diciembre 26. Bogotá D.C., 1996. p. 17.

6.1.2.2 Evaluación de parámetros de instalación de imagenología. Estos parámetros se relacionan con los elementos y condiciones al interior del área.

Tabla 105. Evaluación de parámetros instalación Imagenología, Res. 4445

Parámetros	Calificación
Superficies Impermeables, sólidas y resistentes a factores ambientales	No cumple
Superficies lisas, libre de componentes tóxicos, irritantes o inflamables	No cumple
Superficies cubiertas con materiales lavables de fácil limpieza y desinfección	No cumple
Uniones entre paredes, techos y suelo con acabado en media caña	No cumple
Información citas y control de pacientes	Cumple
Vestuario de pacientes	Cumple
Control y disparo de equipos	Cumple
Sala examen de acuerdo con dimensiones y radiación de equipos	Cumple
Deposito para medios de contraste y elementos de consumo	Cumple
Cuarto para revelado automático o manual.	Cumple
Lectura de placas	Cumple
Oficina para radiólogo	Cumple
Deposito o archivo de placas, alejados de la zona del examen	Cumple
Blindaje en lámina de plomo o espesor equivalente en otro material	No cumple
Sala de examen ubicada lejos de oficinas o salas de espera	Cumple
Cumplimiento:	66.7%

Fuente: COLOMBIA, MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 4445. Diciembre 26. Bogotá D.C., 1996. p. 17.

6.1.3 Parámetros de confort del ambiente interior. En el cuadro 32 (siguiente página) se tomó nota de la temperatura, la humedad relativa y la presión diferencial en relación con las áreas adyacentes. No existen requerimientos, ni parámetros técnicos de iluminación estipulados para este servicio hospitalario.

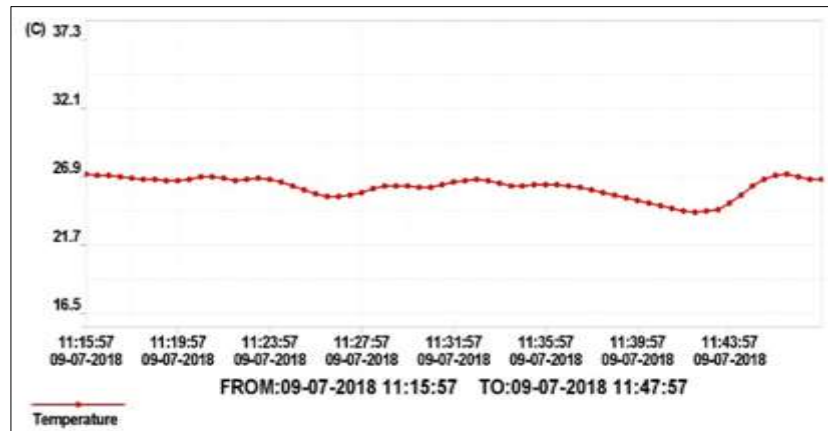
Cuadro 32. Parámetros de confort del ambiente dentro de imagenología

Var.	Descripción	Valor	Unid.	Normativa
T_r	Temperatura interior	24 a 26	°C	UNE 100713 ¹⁶⁰
HR_r	Humedad Relativa interior	45 a 55	%	
P	Presión	Positiva	-	ASHRAE ¹⁶¹
-	Ruido	1 a 40	dB	UNE 100713 ¹⁶²
\bar{E}_m	Iluminación mantenida	N/A	lux	EN 12464-1 ¹⁶³
UGR_L	Deslumbramiento unificado	N/A	-	
R_a	Rendimiento de color	N/A	lux	

Fuente: Elaboración propia

6.1.3.1 Evaluación de la Temperatura (T) interior. Durante el desarrollo de la visita técnica realizada en las instalaciones interiores a la unidad de neonatología, se registraron los datos de temperatura mostrados en la siguiente gráfica.

Gráfica 20. Curva de temperatura (T) de imagenología



Fuente: Elaboración propia. Software: RHT10 Graph V5.6.1. 2016 [Gráfica].

Estos resultados fueron evaluados en la tabla 106 (siguiente página), de acuerdo con los parámetros técnicos establecidos para este servicio de salud en el cual el valor mínimo es 24°C y el máximo es 26°C.

¹⁶⁰ ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, (AENOR). UNE 100713. Op cit., p. 21.

¹⁶¹ KOENIGSHOFER, Dan. HVAC Design Manual for Hospitals and Clinics, Second Edition. 2nd ed. Atlanta, Ga: ASHRAE, 2013. ISBN: 978-1-936504-39-8. p. 77.

¹⁶² ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, (AENOR). UNE 100713. Op cit., p. 21.

¹⁶³ ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, (AENOR). UNE-EN 12464-1. Op cit. p. 34.

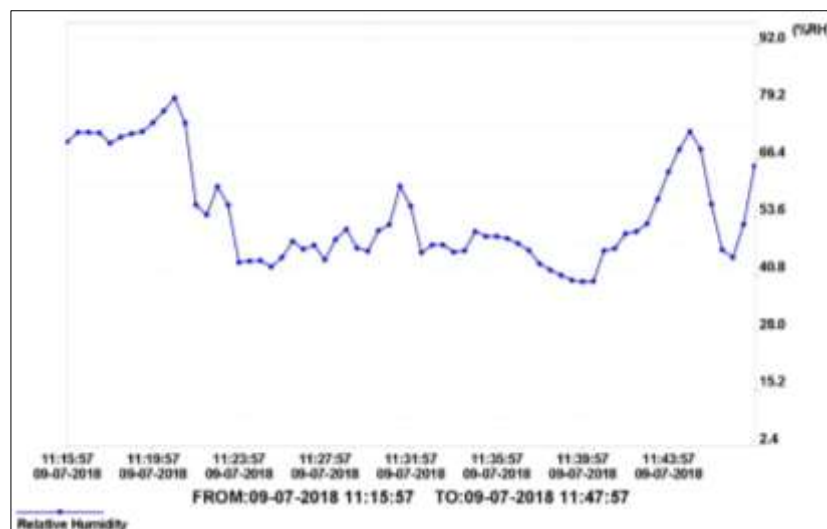
Tabla 106. Evaluación de temperatura (T) en la unidad de Imagenología

Medidas	-	Hora	T [°C]	-	Hora	T [°C]	-	Hora	T [°C]
	1	11:15	27.1	11	11:25	25.9	21	11:35	26.3
	2	11:16	27.0	12	11:26	25.4	22	11:36	26.3
	3	11:17	26.9	13	11:27	25.5	23	11:37	26.1
	4	11:18	26.7	14	11:28	26.0	24	11:38	25.7
	5	11:19	26.6	15	11:29	26.2	25	11:39	25.3
	6	11:20	26.7	16	11:30	26.1	26	11:40	24.9
	7	11:21	26.9	17	11:31	26.3	27	11:41	24.5
	8	11:22	26.6	18	11:32	26.6	28	11:42	24.2
	9	11:23	26.8	19	11:33	26.6	29	11:43	24.4
	10	11:24	26.5	20	11:34	26.2	30	11:44	25.5
Promedio			26.8			26.1			25.3
Min	24	Cumple		Cumple		Cumple			
Max	26	No cumple		No cumple		Cumple			
General			No cumple	No cumple		Cumple			
Cumplimiento			33.3%						

Fuente: Elaboración propia

6.1.3.2 Evaluación de la Humedad Relativa (HR) interior. Simultáneamente, se desarrolló la evaluación técnica de la humedad relativa al interior de las salas de examen.

Gráfica 21. Curva de humedad relativa (HR) de imagenología



Fuente: Elaboración propia. Software: RHT10 Graph V5.6.1. 2016 [Gráfica].

De acuerdo con el procedimiento de cálculo establecido, en la tabla 107 se contrastaron los datos obtenidos contra los rangos reglamentados, obteniendo un valor de cumplimiento de 66.7% para la humedad relativa.

Tabla 107. Evaluación de humedad relativa (HR) en la unidad de imagenología

Medidas	-	Hora	HR[%]	-	Hora	HR[%]	-	Hora	HR[%]	
	1	11:15	71.2	11	11:25	42.5	21	11:35	49.3	
	2	11:16	72.5	12	11:26	48.2	22	11:36	48.8	
	3	11:17	72.4	13	11:27	47.3	23	11:37	46.2	
	4	11:18	71.5	14	11:28	48.6	24	11:38	41.8	
	5	11:19	72.7	15	11:29	46.7	25	11:39	39.5	
	6	11:20	77.3	16	11:30	50.6	26	11:40	39.3	
	7	11:21	74.6	17	11:31	60.5	27	11:41	46.6	
	8	11:22	54.1	18	11:32	45.7	28	11:42	50.4	
	9	11:23	56.3	19	11:33	47.4	29	11:43	57.6	
	10	11:24	43.8	20	11:34	46.1	30	11:44	68.7	
Promedio			66.6				48.4			
Min	45	Cumple			Cumple			Cumple		
Max	55	No cumple			Cumple			Cumple		
General		No cumple			Cumple			Cumple		
Cumplimiento:				66.7%						

Fuente: Elaboración propia

6.1.4 Análisis parcial de resultados. Los resultados obtenidos fueron consignados en la siguiente tabla.

Tabla 108. Calificación del ambiente interior de imagenología

Ítem	Descripción	Valor	Unidad
1	Parámetros de diseño	60.0	%
2	Parámetros de instalación	66.7	%
3	Evaluación de temperatura interior	33.3	%
4	Evaluación de humedad relativa	66.7	%
Cumplimiento:		56.7%	

Fuente: Elaboración propia

El resultado obtenido corresponde a un valor de 56.7%, que refleja un porcentaje muy bajo en los diferentes aspectos evaluados, se resalta el poco cumplimiento de la temperatura en el interior de los cuartos, ya que no hay un control de apertura y cierre en las puertas de acceso a las salas de examen, por lo tanto, el aire ambiente del interior se mezclara con el exterior.

6.2 EVALUACIÓN TÉCNICA DE DESEMPEÑO DE EQUIPOS

A través de los cálculos reales e ideales de las cargas térmicas y del desempeño de equipos, se determinó el cumplimiento del rendimiento de estos en relación con las especificaciones técnicas ideales del proceso de climatización.

6.2.1 Evaluación técnica del proceso real de climatización. En primer lugar, se realizaron los cálculos de los parámetros reales del aire ambiente, a partir de las mediciones realizadas en campo.

Tabla 109. Cálculo de la densidad del y variables ambientales

Variable	Descripción	Valor	Unidad
T_i	Temperatura exterior	26.5	°C
		299.65	K
HR_i	Humedad relativa exterior	59.9	%
P_{wsi}	P. de vapor de saturación exterior	3.483	kPa
ρ_i	Densidad exterior	0.9066	kg/m ³
T_r	Temperatura interior	24.2	°C
		297.35	K
HR_r	Humedad relativa interior	39.3	%
P_{wsr}	P. de vapor de saturación interior	3.022	kPa
ρ_r	Densidad interior	0,9136	kg/m ³
-	Altitud	2160	m.s.n.m.
P	Presión atmosférica	585	mmHg
		779.936	hPa
		77,993.697	Pa

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de la carga térmica real por aire tratado (\dot{Q}_{Ra}). Posteriormente se determinaron las entalpías del aire ambiente exterior y del aire ambiente interior. La siguiente tabla contiene los valores conseguidos, a partir de las mediciones registradas de temperatura y humedad relativa. Luego, se trazaron los datos obtenidos en la curva psicrométrica corregida para las condiciones atmosféricas de la ciudad de Manizales (grafica 22, siguiente página).

Tabla 110. Datos reales de entalpia

Etiqueta	T [°C]	HR [%]	h [kJ/kg]
h_i	26.5	59.9	70.1
h_r	24.2	39.3	48.8

Fuente: Elaboración propia. Software: SICRO, V2.1.2. 2017 [Datos].

Gráfica 22. Curva de entalpia real del aire tratado en imágenes



Fuente: Elaboración propia. Software: SICRO, V2.1.2. 2017 [Datos]

A partir de los parámetros del aire ambiente, se calculó la ganancia de calor generada por el aire tratado al interior de las de examen diagnóstico en imagenología.

Tabla 111. Cálculo de carga térmica real por aire tratado (\dot{Q}_{Ra})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
ρ_i	Densidad exterior	0.9066	kg/ m ³
V	Volumen interior	304.93	m ³
h_i	Entalpia ambiente infiltrado (exterior)	70.1	kJ/kg
h_r	Entalpia ambiente refrigerado (interior)	48.8	kJ/kg
n	Tiempo de ciclado	600	s
\dot{Q}_{Ra}	Carga térmica real por aire tratado	6.911	kW

Fuente: Elaboración propia

6.2.1.1 Cálculo de la carga térmica real por equipos misceláneos (\dot{Q}_{Re}). Se identificaron los equipos misceláneos que componen la unidad de imagenología.

Tabla 112. Cálculo de la carga térmica real por equipos misceláneos (\dot{Q}_{Re})

Equipo	Descripción	Valor	Unidad
1	Aspirador	0.243	kW
2	Desfibrilador	1.600	kW
3	Negatoscopio de 2 cuerpos	0.250	kW
4	Computador	0.173	kW
5	Uninterruptible Power Systems (UPS)	7.040	kW
6	Precalentador de medios de contraste	0.330	kW
7	Monitor de signos vitales	0.117	kW
8	Inyector	0.149	kW
9	Comando Inyector	0.120	kW
10	Tomógrafo Phillips Ingenuity Core ¹²⁸	6.970	kW
11	Generador de rayos x Philips Diagnostic 66	15.2	kW
12	Generador de rayos x Philips Optimus 50	25.2	kW
\dot{Q}_{Re}	Carga térmica equipos	57.392	kW

Fuente: Elaboración propia

6.2.1.2 Cálculo de la carga térmica real debida a infiltraciones (\dot{Q}_{Ri}). El cálculo de la carga térmica real por infiltraciones comprende la identificación de los dispositivos de control para la apertura y cierre de las puertas de acceso a cada una de las salas de examen, los cuales se encontraban en mal estado o no existían.

Tabla 113. Cálculo de la carga térmica real debida a infiltraciones (\dot{Q}_{Ri})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
P	Numero de pasillos de entrada	1	-
θ_p	Factor de tiempo de apertura de la entrada	60	s
θ_o	Tiempo permanencia puerta abierta	60	min
θ_d	Periodo de tiempo diario	24	h
D_t	Factor tiempo de apertura de entrada	0.042	-
ρ_i	Densidad del aire infiltrado	0.9066	Kg/m ³
ρ_r	Densidad del aire refrigerado	0.9136	Kg/m ³
F_m	Factor de densidad	0.999	-
A	Área de la entrada	8.12	m ²
g	Constante gravitacional	9.81	m/s ²
H	Altura de la entrada	2.00	m
q	Carga sensible y latente de refrigeración	9.528	kW
D_f	Factor de flujo de entrada	1.1	-
E	Efectividad de dispositivos de entrada	0.0	-
\dot{Q}_{Ri}	Carga térmica real debida a infiltraciones	0.444	kW

Fuente: Elaboración propia

6.2.1.3 Cálculo de carga térmica real por transmisiones de paredes (\dot{Q}_{Rk}). Para determinar esta variable, se utilizaron los aspectos relacionados con el tipo de superficies medianeras que contienen las salas de examen.

Tabla 114. Cálculo de la carga térmica real por transmisiones (\dot{Q}_{Rk})

Vr.	Descripción	Norte	Sur	Este		Oeste	Unidad
		Pared	Pared	Pared	Vidrio	Pared	
K	Coef. t. calor	2.3	1.8	1.8	5.8	2.3	[W/m ² K]
A	Á. superficie	14.22	14.22	65.31	2.25	67.56	[m ²]
-	A. adyacente	Int.	Ext.	Ext.	Ext.	Int.	-
T_i	T. exterior	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	[°C]
T_r	T. interior	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	[°C]
ΔT	Diferencia. T	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	[°C]
q_k	C. térmica	0.075	0.059	0.270	0.030	0.357	[kW]
\dot{Q}_{Rk}	C. por trans.					0.792	[kW]

Fuente: Elaboración propia

El valor del coeficiente de transferencia de calor (K) se determinó a partir del reconocimiento del área medianera delimitada por cada pared evaluada. Del cuadro 10 se referenciaron los valores de K , para las paredes que delimitan ambientes adyacentes interiores ($K= 1.8\text{W}/\text{m}^2\text{K}$), paredes que delimitan ambientes adyacentes exteriores ($K = 2.3\text{W}/\text{m}^2\text{K}$) y vidrios medianeros con ambientes exteriores ($K = 5.8\text{W}/\text{m}^2\text{K}$).

6.2.1.4 Cálculo de carga térmica real por ocupantes (\dot{Q}_{Ro}). Durante la visita técnica realizada se identificaron dos salas de examen en funcionamiento, es decir que se les estaban practicando el diagnostico medico a dos pacientes, adicionalmente, fueron 5 la cantidad personas presentes del personal del hospital que se encontraban en esta área.

Tabla 115. Cálculo de la carga térmica real debida a los ocupantes (\dot{Q}_{Ro})

Variable	Descripción	Estancia	Valor	Unidad
q_p	Carga equivalente por persona	Huésped	0.073	kW
		Personal	0.176	kW
N_o	Número de personas	Huésped	2	-
		Personal	5	-
\dot{Q}_{Ro}	Carga térmica debida a los ocupantes		1.026	kW

Fuente: Elaboración propia

6.2.1.5 Cálculo de la carga térmica real debida a fuentes lumínicas (\dot{Q}_{Rf}). Durante la visita técnica se reconoció la cantidad de fuentes lumínicas instaladas al interior de cada sala de examen, así como la frecuencia de uso.

Tabla 116. Cálculo de la carga térmica real debida a fuentes lumínicas (\dot{Q}_{Rf})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
N_f	Numero de bombillos por sala	8	-
-	Número de cubículos	4	-
$Watts$	Capacidad de fuente lumínica	32	W
W	Capacidad total de iluminación	1,024	W
F_{ul}	Factor real de uso de iluminación	0.5	-
F_{sa}	Factor real de tolerancia especial	1.3	-
\dot{Q}_{Rf}	Carga real debida a las fuentes lumínicas	0.666	kW

Fuente: Elaboración propia

Estas fuentes lumínicas se encienden con determinada frecuencia, dependiendo el número de exámenes que se realicen, por esta razón, se relacionó un factor de uso de iluminación (F_{ul}) de 0.5.

6.2.1.6 Cálculo de carga térmica real total (\dot{Q}_{RT}). A partir del calculo realizado de las diferentes ganancias de calor generadas al interior de la unidad de imagenología, se dermino la carga termica real total (\dot{Q}_{RT}) como se muestra en la tabla 117.

Tabla 117. Cálculo de la carga térmica real total (\dot{Q}_{RT})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
\dot{Q}_a	Carga térmica por aire tratado	6.911	kW
\dot{Q}_{Re}	Carga térmica debida a equipos	57.392	kW
\dot{Q}_{Ri}	Carga térmica debida a infiltraciones	0.444	kW
\dot{Q}_{Rt}	Carga térmica por transmisiones	0.792	kW
\dot{Q}_{Ro}	Carga térmica debida a los ocupantes	1.026	kW
\dot{Q}_{Rf}	Carga térmica debida fuentes lumínicas	0.666	kW
\dot{Q}_{RT}	Carga térmica total	67.231	kW

Fuente: Elaboración propia

6.2.1.7 Desempeño real de equipos. Durante la visita técnica se pudieron reconocer los equipos de climatización instalados en la cubierta del hospital, los cuales controlan el bienestar atmosférico del interior de las salas de examen diagnóstico. Este reconocimiento se contrasto con la información técnica de los equipos suministrada por la central de mantenimiento del hospital, como se muestra en el cuadro 33.

Cuadro 33. Denominación de equipos de imagenología instalados

Equipo	Modelo	Marca	Refrigerante
Unidad condensadora	TECAM®	3ADW09	R22
Unidad manejadora	TECAM®	7030523	

Fuente: Elaboración propia

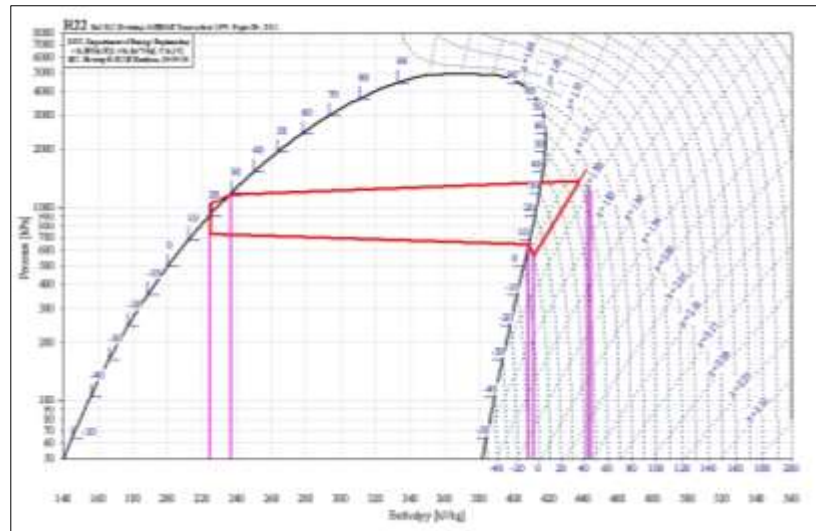
Tabla 118. Parámetros reales del sistema con refrigerante R22

Etapa	Punto	T [°C]	P [kPa]	h [kJ/kg]
Compresión	1	5.7	596.68	408.75
	2	45.6	1753.66	438.79
Condensación	3	43.9	1684.52	445.14
	4	25.5	1058.05	233.18
Expansión	5	22.3	969.87	225.76
	6	2.3	535.95	226.09
Evaporación	7	2.5	539.39	226.09
	8	3.4	555.07	406.05

Fuente: Elaboración propia

Estos datos registrados permitieron trazar la curva real del sistema de climatización instalado (gráfica 23) y se mostraron los valores de temperatura, presión y entalpia para el refrigerante R22.

Gráfica 23. Curva real del sistema de refrigeración de imágenes



Fuente: Elaboración propia con base en diagrama de Mollier.
Software: Coolpack, versión 1.5, Refrigeration utilities [Grafica]

A partir de los valores de entalpia obtenidos para cada punto en las etapas del ciclo de refrigeración por compresión de vapor se determinaron los parámetros de equipos, calculados en la tabla 119.

Tabla 119. Calculo de los parámetros de desempeño reales de equipos

Variable	Descripción	Valor	Unidad
w_{Rcom}	Potencia térmica real del compresor	30.040	kJ/kg
q_{Rcon}	Potencia térmica real del condensador	213.030	kJ/kg
ER_R	Potencia térmica real del evaporador	182.660	kJ/kg
Q_{RT}	Carga térmica real total	67.231	kW
\dot{m}_r	Flujo másico real	0.3681	Kg/s
\dot{W}_{Rcom}	Potencia térmica real del compresor	11.057	kW
\dot{Q}_{Rcom}	Potencia térmica real del condensador	78.015	kW
COP_R	Coficiente real de rendimiento	7.056	-
EER_R	Factor real de eficiencia energética	6.081	-

Fuente: Elaboración propia

6.2.2 Evaluación técnica proceso ideal de climatización. De acuerdo con el procedimiento de cálculo, efectuaron los cálculos de desempeño de equipos para el proceso ideal de climatización.

En la siguiente tabla se calcularon los parámetros corregidos del aire para las condiciones atmosféricas de la ciudad de Manizales. Los valores de temperatura y humedad relativa del ambiente están fundamentados en condiciones climatológicas críticas en los que debería funcionar el sistema de climatización.

Tabla 120. Calculo de la densidad del aire y los parametros ambientales

Variable	Descripción	Valor	Unidad
T_i	Temperatura exterior	32.0	°C
		305.15	K
HR_i	Humedad relativa exterior	86.0	%
P_{wsi}	P. de vapor de saturación exterior	4.759	kPa
ρ_i	Densidad exterior	0.8902	kg/m ³
T_r	Temperatura interior	24	°C
		297.15	K
HR_r	Humedad relativa interior	50	%
P_{wsr}	P. de vapor de saturación interior	2.98512	kPa
ρ_r	Densidad interior	0.9142	kg/m ³
P	Presión atmosférica	77993.597	Pa

Fuente: Elaboración propia

6.2.2.1 Cálculo de la carga térmica ideal por aire tratado (\dot{Q}_{Ia}). Gracias a los parámetros ambientales obtenidos se determinaron los valores de entalpia del aire ambiente mediante el software SICRO, como se muestra en la siguiente tabla:

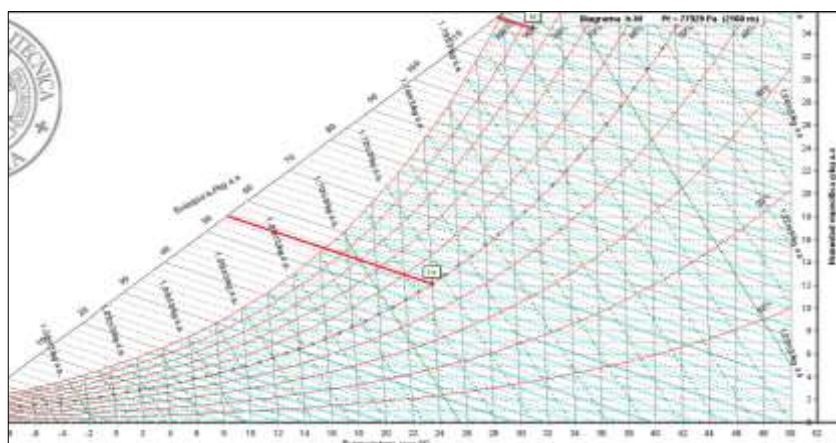
Tabla 121. Datos ideales de entalpia

Etiqueta	T [°C]	ϕ [%]	h [kJ/kg]
h_i	32	86.0	120.5
h_r	24	50.0	55.1

Fuente: Elaboración propia. Software: SICRO, V2.1.2. 2017 [Datos].

Adicionalmente se trazaron los datos obtenidos en la carta psicrométrica corregida de acuerdo con los parámetros ambientales (grafica 24, siguiente página)

Gráfica 24. Curva de entalpia ideal del aire tratado imágenes



Fuente: Elaboración propia. Software: SICRO, V2.1.2. 2017 [Datos]

Se contemplaron los valores del volumen interior de las salas de examen medidos durante la visita técnica, adicionalmente, la densidad del aire está fundamentada en las condiciones del aire ambiente exterior, siendo estas las condiciones objeto de estudio en esta evaluación.

Tabla 122. Cálculo de la carga térmica ideal por aire tratado (\dot{Q}_{Ia})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
ρ_i	Densidad exterior	0.8902	kg/ m ³
V	Volumen	304.93	m ³
h_i	Entalpia ambiente infiltrado (exterior)	120.5	kJ/kg
h_r	Entalpia ambiente refrigerado (interior)	55.1	kJ/kg
n	Tiempo de ciclado	600	s
\dot{Q}_{Ia}	Carga térmica ideal por aire tratado	29.589	kW

Fuente: Elaboración propia

6.2.2.2 Cálculo de la carga térmica ideal por equipos misceláneos (\dot{Q}_{Ie}). De acuerdo con el procedimiento de cálculo, se reconoció que en el hospital seleccionado y en la unidad de imágenes diagnosticas, los equipos instalados en esta área cumplen con las necesidades del servicio de salud, siendo la generación de calor igual que la ganancia térmica real.

Tabla 123. Cálculo de la carga térmica ideal por equipos misceláneos (\dot{Q}_{Ie})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
\dot{Q}_{Ie}	Carga térmica equipos	57.392	kW

Fuente: Elaboración propia

6.2.2.3 Cálculo de la carga térmica ideal debida a infiltraciones (\dot{Q}_{Ii}). De acuerdo con la ASHRAE¹⁶⁴, idealmente el quirófano debe tener una presión positiva en relación con las áreas adyacentes, por esta razón, no se determinó la generación de calor debida a infiltraciones entre puertas y ventanas.

6.2.2.4 Cálculo de carga térmica ideal por transmisiones de paredes (\dot{Q}_{Ik}). El cálculo de la carga térmica ideal por transmisiones se realizó de acuerdo con los parámetros de diseño instalados actualmente en el interior de las salas de examen. La unidad de imagenología se encuentra ubicada en el primer piso de la planta física del hospital, de modo que el ambiente interior que se encuentra en el segundo piso también es un ambiente climatizado, por esta razón, no se tendrán en cuenta las transmisiones a través del techo de la instalación. El valor del coeficiente de transferencia de calor (K) se determinó a partir del reconocimiento del área medianera delimitada por cada pared evaluada. Del cuadro 10 se referenciaron los valores de K , para las paredes que delimitan ambientes adyacentes interiores ($K=1.8\text{W/m}^2\text{K}$), paredes que delimitan ambientes adyacentes exteriores ($K=2.3\text{W/m}^2\text{K}$) y vidrios medianeros con ambientes exteriores ($K=5.8\text{W/m}^2\text{K}$).

Tabla 124. Cálculo de la carga térmica ideal por transmisiones (\dot{Q}_{Ik})

Vr.	Descripción	Norte	Sur	Este		Oeste	Unidad
		Pared	Pared	Pared	Vidrio	Pared	
K	Coef. t. calor	2.3	1.8	1.8	5.8	2.3	[W/m ² K]
A	Á. superficie	14.22	14.22	65.31	2.25	67.56	[m ²]
-	A. adyacente	Int.	Ext.	Ext.	Ext.	Int.	-
T_i	T. exterior	32	32	32	32	32	[°C]
T_r	T. interior	24	24	24	24	24	[°C]
ΔT	Diferencia. T	8	8	8	8	8	[°C]
q_k	C. térmica	0.262	0.205	0.941	0.104	1.243	[kW]
\dot{Q}_{Ik}	C. por trans.					2.755	[kW]

Fuente: Elaboración propia

6.2.2.5 Cálculo de la carga térmica ideal por ocupantes (\dot{Q}_{Io}). De acuerdo con el servicio de salud prestado, en la visita técnica se determinó la capacidad máxima del personal del hospital y huéspedes que pueden estar presentes en las salas de examen. Los datos se registraron en la tabla 125 (siguiente página).

¹⁶⁴ ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Standard 170 Ventilation of Health Care Facilities. 2008 ISBN: 1031-2336. p. 9.

Tabla 125. Cálculo de la carga térmica ideal por ocupantes (\dot{Q}_{Io})

Variable	Descripción	Estancia	Valor	Unidad
q_p	Carga equivalente por persona	Huésped	0.073	kW
		Personal	0.176	kW
N_o	Número de personas	Huésped	3	-
		Personal	10	-
\dot{Q}_{Io}	Carga térmica debida a los ocupantes		1.979	kW

Fuente: Elaboración propia

6.2.2.6 Cálculo de la carga térmica ideal debida a fuentes lumínicas (\dot{Q}_{If}). Como se mencionó anteriormente, no existen requerimientos técnicos que estipulen la luminiscencia mínima que debe estar instalada en las salas de imágenes diagnosticas, por esta razón, se tomó el mismo valor calculado en la evaluación técnica real, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 126. Cálculo de la carga térmica ideal debida a fuentes lumínicas (\dot{Q}_{If})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
\dot{Q}_{If}	Carga real debida a las fuentes lumínicas	0.666	kW

Fuente: Elaboración propia

6.2.2.7 Cálculo de carga térmica ideal total (\dot{Q}_{IT}). Después de determinar las ganancias de calor que se pueden generar en escenarios climatologicos criticos y en condiciones de diseño e instalacion ideales, se registrarorn los valores obtenidos en la tabla 127, para calcular la carga termica ideal total (\dot{Q}_{IT}).

Tabla 127. Cálculo de carga térmica ideal total (\dot{Q}_{IT})

Variable	Descripción	Valor	Unidad
\dot{Q}_{Ia}	Carga térmica por aire tratado	29.589	kW
\dot{Q}_{Ie}	Carga térmica debida a equipos	57.392	kW
\dot{Q}_{Ii}	Carga térmica debida a infiltraciones	0	kW
\dot{Q}_{Ik}	Carga térmica por transmisiones	2.755	kW
\dot{Q}_{Io}	Carga térmica debida a los ocupantes	1.979	kW
\dot{Q}_{If}	Carga térmica debida fuentes lumínicas	0.666	kW
\dot{Q}_{IT}	Carga térmica ideal total	92.380	kW

Fuente: Elaboración propia.

6.2.2.8 Desempeño ideal de equipos. Después de reunir los valores de la generación de calor, se determinaron las presiones del sistema ideal, como se muestra en el siguiente cuadro (siguiente página):

Cuadro 34. Parámetros del desempeño ideal de equipos

Variable	Descripción	Valor	Unidad
P_L	Presión de succión	614.013	kPa
P_H	Presión de descarga	1840.113	kPa
	Refrigerante	R22	

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se calcularon los valores de cada punto del sistema ideal de refrigeración por compresión de vapor, obteniendo valores de temperatura, presión y entalpia para cada uno.

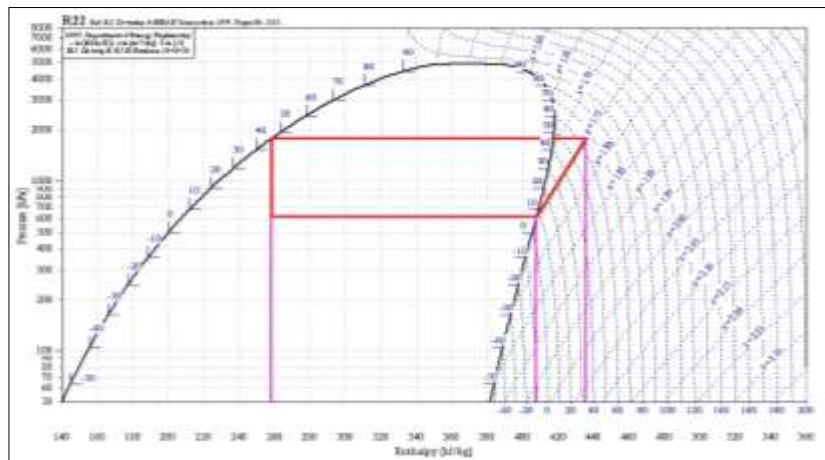
Tabla 128. Parámetros ideales del sistema con refrigerante R22

Punto	Temperatura [°C]	Presión [kPa]	Entalpia [kJ/kg]
1	6.6	614.013	407.5
2	65.4	1840.113	434.8
3	47.7	1840.113	260.1
4	6.6	614.013	260.1

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente se trazó la curva ideal del sistema de refrigeración como se muestra en la gráfica 25, en el correspondiente diagrama de Mollier para el refrigerante R22.

Gráfica 25. Curva ideal del sistema de refrigeración de imágenes



Fuente: Elaboración propia con base en diagrama de Mollier.
Software: Coolpack, versión 1.5, Refrigeration utilities
[Grafica]

Por último, se determinaron los parámetros de desempeño del sistema ideal, a partir de las entalpias calculadas anteriormente.

Tabla 129. Cálculo de los parámetros de desempeño ideales de equipos

Variable	Descripción	Valor	Unidad
w_{Icom}	Potencia térmica ideal del compresor	27.300	kJ/kg
q_{Icon}	Potencia térmica ideal del condensador	174.700	kJ/kg
ER_i	Efecto refrigerante ideal	147.400	kJ/kg
Q_{iT}	Carga térmica ideal total	92.380	kW
\dot{m}_i	Flujo másico ideal	0.627	Kg/s
\dot{W}_{Icom}	Potencia térmica ideal del compresor	17.110	kW
\dot{Q}_{Icon}	Potencia térmica ideal del condensador	109.490	kW
COP_I	Coeficiente ideal de rendimiento	6.399	-
EER_I	Factor ideal de eficiencia energética	5.399	-

Fuente: Elaboración propia.

6.2.3 Análisis parcial de resultados. El cumplimiento del desempeño de equipos se determinó en la tabla 130 (siguiente página).

Tabla 130. Calificación del desempeño de equipos de imagenología

Variable	Descripción	Valor	Unidad
\dot{Q}_{eva}	Capacidad real del evaporador	67.231	kW
\dot{Q}_{IT}	Carga térmica ideal total	92.380	kW
$\%C.$	Cumplimiento	72.8	%
COP_R	Coeficiente real de rendimiento	7.056	-
COP_I	Coeficiente ideal de rendimiento	6.399	-
$\%C.$	Cumplimiento	110.3	%
EER_R	Factor real de eficiencia energética	6.081	-
EER_I	Factor ideal de eficiencia energética	5.399	-
$\%C.$	Cumplimiento	112.6	%
Cumplimiento:		98.5%	

Fuente: Elaboración propia

El resultado del consumo real corresponde a un 35.4% menor que el consumo eléctrico ideal, el consumo eléctrico real se relacionó con el consumo eléctrico ideal a través de la siguiente tabla:

Tabla 131. Comparación entre el consumo eléctrico real y el ideal

Variable	Descripción	Valor	Unidad
P_{elecR}	Consumo real compresor	11.057	kW
P_{elecI}	Consumo ideal compresor	17.118	kW

Fuente: Elaboración propia

6.3 EVALUACIÓN TÉCNICA DE INFRAESTRUCTURA DE EQUIPOS

En esta sección se realizó la evaluación técnica de infraestructura de equipos de climatización, se calificaron los aspectos de accesibilidad, estado actual del ambiente instalado y el reconocimiento del estado actual de los equipos basado en su condición.

6.3.1 Estado actual de los equipos. Fue posible acceder a los ambientes donde están instalados los equipos, de modo que se pudo revisar su instalación, su limpieza y su cuidado.

En la figura 78 (lado izquierdo), se observa que no hay baranda de protección para acceder a los equipos por parte del personal de mantenimiento, pues no están implementadas las normas de seguridad, por tratarse de un lugar ubicado en la cubierta (azotea) de las instalaciones. Como se muestra en la figura 78, Se observaron abolladuras en el exterior del serpentín de la unidad condensadora

Figura 78. Unidad condensadora de imagenología



Fuente: Elaboración propia

Los ductos de salida mostrados en la figura 79 (lado izquierdo) no desempeñan ninguna función específica; los técnicos justifican su instalación con el fin de que el aire sea direccionado lejos de las ventanas de los cuartos de hospitalización. En esta figura (lado derecho), se reconoce el mal estado del aislamiento de la línea de succión del sistema.

Figura 79. Unidad condensadora y accesorios de imagenología



Fuente: Elaboración propia

Se observó que la compuerta de inspección de la unidad condensadora presenta la tornillería en mal estado debido a que los tornillos y los huecos se notaron en mal estado o no existían, lo que causaba desajuste y soltura en el equipo.

Figura 80. Interior de unidad condensadora imagenología



Fuente: Elaboración propia

Se vio que las conexiones del sistema al compresor utilizan acoples flexibles grafiados tanto para la entrada de la línea de succión, como su salida de la línea de descarga, se puede observar en la figura 81 mal estado de los sellos en el acople flexible. Se evidenció la ausencia de tornillería de fijación en soporte base del compresor. (figura 81, lado derecho)

Figura 81. Interior unidad condensadora y accesorios



Fuente: Elaboración propia

En la visita técnica, se tuvo acceso al cuarto de equipos donde se encontraba la unidad manejadora de aire (UMA), en la cual se encontró en mal estado, debido a que las superficies delimitadoras como pisos, paredes y techo de dicho recinto están dañadas, desgastadas y contaminadas. En la siguiente figura (lado izquierdo, siguiente página) se observa que el cielo raso está sucio y dañado.

Figura 82. Condiciones de ambiente en la unidad manejadora



Fuente: Elaboración propia

El análisis de las condiciones de los equipos se observó que la compuerta de inspección de la unidad manejadora presenta la tornillería completamente dañada; en la figura 83 (lado izquierdo) se puede identificar el espacio entre la compuerta y el gabinete de la UMA, debido al mal sellamiento por la tornillería, adicionalmente aire exterior se filtra a través de dicha ranura, afectando el rendimiento del sistema.

Figura 83. Estado actual de la unidad manejadora de imágenes



Fuente: Elaboración propia

En la figura 83 (lado derecho), se puede observar la distribución de los equipos en el interior del cuarto de equipos, que resulta estrecho para cuando se necesite realizar un mantenimiento correctivo.

En la siguiente figura (siguiente página), se puede reconocer el mal estado de la junta flexible de la línea de impulsión, que se encontró dañada y desgastada, se puede observar la ranura que tiene esta sección de la línea de impulsión, donde puede introducirse cualquier cosa, desde bioaerosoles, hasta objetos.

Figura 84. Estado actual de ducto de impulsión a imagenología



Fuente: Elaboración propia

En la figura 85 (lado izquierdo), se reconoce el mal estado en el sistema de drenaje al interior de la manejadora que no funciona apropiadamente, generando corrosión y deterioro de los elementos internos, pues la válvula de expansión no se encontró en buen estado.

Figura 85. Interior y accesorios de UMA imagenología



Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, en la figura 85 (lado derecho) se observan las compuertas de inspección laterales de la UMA, las cuales se encontraban sin tornillería, y completamente sueltas.

Después de reunir toda la información a través de la visita técnica realizada y a las observaciones reconocidas durante ésta, se diligencio el formato de análisis de falla para todos los equipos evaluados que requieren atención. Como se muestra en la tabla 132 (siguiente página)

Tabla 132. Formato de analisis de falla de equipos de imagenologia

Equipo	Parte	Síntoma	Causa	Descripción
Unidad Condensadora	Serpentín condensador	Mal funcionamiento	Daño, Mtto. inapropiado	Deformación y abolladuras de aletas serpentín exterior
Unidad Condensadora	Compuerta inspección	Soltura, desajuste	Falta repuesto	Falta tornillería fijación compuertas de inspección
Unidad Condensadora	Gabinete	Soltura, desajuste	Falta repuesto	Falta tornillería de fijación soporte base
Unidad Condensadora	Sistema eléctrico	Soltura, desajuste	Instalación inapropiada	Cableado eléctrico mal distribuido al interior
Línea de succión	Aislador térmico	Rotura, desgaste	Mtto. inapropiado	Daño y desgaste de aislamiento, reemplazar
Compresor	Soporte base	Soltura, desajuste	Falta repuesto	Falta tornillería de fijación soporte base
Cuarto equipos	Cielo raso	contaminación	Mal montaje	Se observa en mal estado el cielo raso
Unidad manejadora	Compuerta inspección	Soltura, desajuste	Falta repuesto	Falta tornillería fijación compuertas de inspección
Línea de impulsión	Acople, junta flexible	Rotura, desgaste	Daño, Mtto. inapropiado	fuga de aire en línea de impulsión por ducto roto
Unidad manejadora	Válvula de expansión	Reguero, contaminación	Mtto inapropiado	Drenaje de equipo en mal estado

Fuente: Elaboración propia

6.3.2 Evaluación de parámetros de infraestructura de equipos. Por último, se relacionó el formato de análisis de falla completado con la matriz de calificación de cumplimiento como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 133. Calificación de la infraestructura equipos de imagenologia

Equipo	Ambiente	Acceso	Estado
Compresor	Cumple	No cumple	No cumple
Condensador	Cumple	No cumple	No cumple
Expansión	No cumple	No cumple	No cumple
Evaporador	No cumple	No cumple	No cumple
Cumplimiento:		16.7%	

Fuente: Elaboración propia

6.4 ANALISIS DE RESULTADOS UNIDAD DE IMAGENOLOGIA

Se calculó el nivel de cumplimiento para la climatización de la unidad de imagenología a partir de la calificación del ambiente interior, así como el desempeño e infraestructura de equipos.

Tabla 134. Calificación del cumplimiento del imagenología

Parámetro	Valor
Calificación del ambiente interior	56.7%
Calificación de desempeño de equipos	98.5%
Calificación de infraestructura de equipos	16.7%
Cumplimiento:	57.3%
	Deficiente

Fuente: Elaboración propia

Esta calificación arroja un nivel de cumplimiento deficiente, con un valor de 57.3%, que se relaciona directamente con el cuidado que necesitan los equipos instalados, especialmente aquellos que componen la unidad manejadora de aire UMA.

Adicionalmente, se resalta el bajo cumplimiento de la calificación del ambiente interior, ya que no se cumplen los requerimientos de instalación, ni de calidad del aire ambiente en la unidad.

7. ANALISIS GENERAL DE RESULTADOS

Finalmente, en la tabla 135 se registraron los resultados parciales del cumplimiento de cada servicio de salud evaluado técnicamente.

Tabla 135. Calificación general de la climatización del hospital

Ítem	Descripción	Valor
1	Quirófano	61.3%
2	Unidad de Cuidado Intensivo	62.3%
3	Neonatología	62.7%
4	Imagenología	57.3%
Cumplimiento:		60.9%

Fuente: Elaboración propia

El resultado obtenido corresponde a un 60.9% para el cumplimiento general de la climatización en las salas limpias del hospital seleccionado, contrastado contra los parámetros y especificaciones técnicas de diseño e instalación de los ambientes interiores de la instalación y contra las normativas vigentes estipuladas para el manejo de la climatización en salas limpias.

De manera general, se resalta el poco cumplimiento de los parámetros de diseño e instalación al interior de los ambientes evaluados, adicionalmente, el poco cumplimiento de los parámetros de confort (temperatura y humedad relativa) en los ambientes estudiados.

Se destaca el mal estado de partes y accesorios de los equipos de refrigeración instalados. Sin embargo, los equipos relacionados con la UMA de la unidad de imagenología, presume ser el equipo que requiere atención inmediata, por otro lado, Los equipos instalados demuestran un buen desempeño, sin embargo, no están diseñados para satisfacer escenarios críticos de operación.

8. COSTOS

Con el fin de precisar el costo total de la elaboración del proyecto, se calcularon las adecuaciones que idealmente deberían estar instaladas en el hospital seleccionado. Se relacionaron las dimensiones de los ambientes evaluados, con los siguientes aspectos:

- Formación ACAIRE: Seminario de calidad ambiental en hospitales; Quirófanos y salas de ambientes controlados.
- Materiales de instalación: Piso conductivo, techo aséptico, pintura antibacterial, y guardaescoba zócalo mediacaña.
- Equipos de climatización: Costos de los equipos de climatización actualmente instalados.

8.1 FORMACIÓN ACAIRE

Dicho anteriormente, el curso de formación dictado por ACAIRE, pretende brindar educación relacionada con el manejo del aire en ambientes controlados en hospitales, por esta razón, el curso se ajusta al perfil profesional de un Ingeniero, un Arquitecto y al personal médico de las instituciones de salud en Colombia.

Actualmente, el hospital seleccionado se compone de los siguientes servicios de salud:

- Urgencias
- Geriatría
- Hospitalización
- Cirugías
- Cuidado Intensivo
- Gineco obstetricia
- Neonatos
- Consulta especializada
- Gastroenterología
- Imágenes diagnosticas
- Laboratorio clínico
- Central de Ingeniería y mantenimiento

De los cuales se estima que el coordinador o responsable de cada área de especialidad, pueda acceder al curso. Con un total de 12 personas; el cálculo del costo total del curso de formación se realizó en la tabla 136 (siguiente página).

Tabla 136. Cálculo del costo total del curso de formación

Descripción	Valor	Unidad
Público en general	\$ 1'369,732	COP
Número de participantes	12	Personas
Subtotal	\$ 16,436,784	COP
IVA (19%)	\$ 3,122,989	COP
Total	\$ 19,559,773	COP

Fuente: Elaboración propia con base en ACAIRE, Asociación Colombiana de Acondicionamiento del Aire y de la Refrigeración. IV Seminario Calidad Ambiental En Hospitales. 2019. [Cotización]

8.2 MATERIALES DE INSTALACION AMBIENTE INTERIOR

Se determino el costo correspondiente a los materiales de instalación de los ambientes interiores de las áreas de especialidad evaluadas.

8.2.1 Piso conductivo. El piso adecuado estipulado por la normativa mencionada es de carácter conductivo. El producto solicitado corresponde al piso conductivo cuya unidad corresponde a la referencia “*elegance*”¹⁶⁵. En la siguiente tabla se realizó el cálculo correspondiente.

Tabla 137. Cálculo de costos del piso conductivo para las areas evaluadas

Datos	Quirófano	UCI	Neonatos	Imágenes	Unidad
Área	132.36	175.48	84.00	66.25	m ²
Piso conductivo rollo Elegance por m ²				\$ 112,500	COP/[m ²]
Área total				458.09	m ²
Subtotal				\$ 51,534,675	COP
IVA (19%)				\$ 9,791,588	COP
Total				\$ 61,326,263	COP

Fuente: Elaboración propia, con base en IMPARK Importaciones Arquitectonicas. Cotización no. 16985-0 Piso Conductivo. 2019 [Cotización].

8.2.2 Techo aséptico. El cielo raso o falso techo que debe ser instalado al interior de las áreas críticas del hospital corresponde a un producto con altos requerimientos de asepsia, de fácil limpieza y desinfección. La referencia seleccionada para este material es “el cielo raso vinyl shades 0.60 * 1.20 autoensamble”¹⁶⁶.

¹⁶⁵ IMPARK Importaciones Arquitectónicas. Cotización no. 16985-0 Piso Conductivo. 2019 [Cotización].

¹⁶⁶ IMPARK,importaciones Arquitectónicas. Cotización no. 16987-0 Cielo Raso. 2019 [Cotización].

En la siguiente tabla se realizó los cálculos correspondientes a la cotización recibida por la empresa IMPARK acerca de este producto.

Tabla 138. Cálculo de costos del techo aseptico para las areas evaluadas

Datos	Quirófano	UCI	Neonatos	Imágenes	Unidad
Área	132.36	175.48	84.00	66.25	m ²
Cielo raso Vinyl shades por m ²				\$ 48,000	COP/[m ²]
Área total				458.09	m ²
Subtotal				\$ 21,988,128	COP
IVA (19%)				\$ 4,177,744	COP
Total				\$ 26,165,872	COP

Fuente: Elaboración propia, con base en IMPARK,importaciones Arquitectónicas. Cotización no. 16987-0 Cielo Raso. 2019 [Cotización].

8.2.3 Paredes asépticas. Las paredes deben estar cubiertas con materiales de fácil limpieza y desinfección, la referencia del material adecuado es la pintura antibacterial de corona ®¹⁶⁷

En la siguiente tabla se realizó el cálculo del costo por la cantidad total de este material, en la que se estimó la cantidad de galones requeridos, en los cuales, el rendimiento corresponde a 3 capas, donde 1gal rinde \pm 20m².

Tabla 139. Cálculo de costos de pintura para las areas evaluadas

Variable	Quirófano	UCI	Neonatos	Imágenes	Unidad
Perímetro	46.02	52.99	36.66	32.56	COP/[m ²]
Altura	2.78	2.50	2.50	2.80	m ²
Área total	127.93	132.47	91.65	91.16	COP
Total, del área				443.21	m
Galones requeridos				22.16	m ²
Cantidad de productos				5.00	Unidades
Galón pintura Antibacterial Corona				\$ 440,400	COP
Subtotal				\$ 2,202,000	COP
IVA (19%)				\$ 418,380	COP
Total				\$ 2,620,380	COP

Fuente: Elaboración propia, con base en MATERIALES Y PINTURAS, CORONA ®. Pintura Antibacterial. 2017 [Cotización].

¹⁶⁷ MATERIALES Y PINTURAS, CORONA ®. Pintura Antibacterial. 2017 [Cotización].

8.2.4 Guardaescoba. En los ambientes interiores de un hospital o de una sala limpia, las esquinas, uniones de pisos con paredes y de paredes con techos, deben contar con acabados curvos, o deben adecuarse mediante el uso de guarda escobas tipo media caña, razón por la que se determinó el costo total de instalación del guardaescoba “Zócalo Media Caña en PVC 9 cm”¹⁶⁸

Tabla 140. Cálculo de costos de guardaescoba para las áreas evaluadas

Variable	Quf.	UCI	Neo.	Imágenes	Unidad
Área total	132.36	175.48	84.00	66.25	m ²
N° recintos	4	8	4	4	-
Área / recinto	33	22	21	17	m ²
Perímetro / recinto	23	19	18	16	m
Perímetro total	92	150	73	65	m
Longitud total				380	m
Cantidad de metros por unidades				3	m
Cantidad de unidades				127	Unidades
Precio por unidad				\$ 28,000	COP
Subtotal Mediacaña horizontal				\$ 3,549,880	COP
Total, de recintos				20	-
Esquinas por recintos				4	-
Total, esquinas				80	-
Altura de los recintos				2.8	m
Longitud total				224	m
Cantidad de unidades				75	Unidades
Precio por unidad				\$ 28,000	COP
Subtotal Mediacaña vertical				\$ 2,100,000	COP
Subtotal				\$ 5,649,880	COP
IVA (19%)				\$ 1,073,477	COP
Total				\$ 6,723,357	COP

Fuente: Elaboración propia, con base en PISOS, VINISOL. Perfiles PVC. Disponible en: <http://www.vinisol.com.co/productos/otros-productos/perfiles-pvc/6/55> [Web]

8.3 EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN

Los equipos actualmente instalados para las áreas de especialidad evaluadas sirvieron como referencia para determinar el costo de estos como se muestra en la siguiente tabla (siguiente página):

Tabla 141. Cálculo del costo de equipos de climatización

Descripción	Capacidad [tr]	Valor	Unidad
Quirófano	7.5	\$ 10,260,000	COP
UCI	7.5	\$ 10,260,000	COP
Neonatología	5	\$ 6,035,000	COP
Imágenes diagnósticas	5	\$ 6,035,000	COP
Total		\$ 32,590,000	COP

Fuente: Elaboración propia con base en TECAM S.A. Manejadoras De Aire. Trabajo Pesado. 2019 [Cotización].

8.4 COSTO TOTAL

Finalmente, mediante la tabla 142 se determinó la sumatoria del costo total del desarrollo del proyecto en relación con los valores en pesos de los parámetros establecidos.

Tabla 142. Cálculo del costo del desarrollo del proyecto

Descripción	Valor	Unidad
Formación ACAIRE	\$ 19,559,773	COP
Piso conductivo	\$ 61,326,263	COP
Falso techo aséptico	\$ 26,165,872	COP
Pintura antimaterial (paredes)	\$ 2,620,380	COP
Guarda escoba zócalo media caña	\$ 6,723,358	COP
Equipos de climatización	\$ 32,590,000	COP
Total	\$ 148,985,646	COP

Fuente: Elaboración propia

El Costo total del desarrollo del proyecto corresponde al valor de \$ 148'985,646.

9. CONCLUSIONES

- De la evaluación técnica realizada, se concluye que el hospital seleccionado cumple con la normativa nacional vigente exigida por el ministerio de salud, esto impacta negativamente la situación actual del servicio de salud brindado, ya que implica que los parámetros establecidos en esta normativa no contemplan las exigencias sanitarias que realmente demandan las salas de ambientes controlado en hospitales.
- Tras la caracterizar el proceso de climatización, se concluye que los parámetros de confort térmico medidos no se encuentran dentro de los rangos establecidos por la normativa vigente, adicionalmente, se resalta el mal estado de la infraestructura de los equipos actualmente instalados.
- En la identificación de las normas relacionadas con las salas limpias, se resalta que, actualmente las empresas encargadas de la validación de ambientes controlados no utilizan normas vigentes para la clasificación de estos, por medio de documentos e informes fundamentados en estándares que fueron suspendidos como el *federal standard 209E* sustituido por la organización internacional de estandarización (*International Standardization Organization* por sus siglas ISO), con las normas ISO 14644, igualmente, la NTP 859, fue utilizada para clasificar los ambientes entre A, B o C, actualmente, esta clasificación está vigente por la norma *Office-Based Surgery Guidelines*¹⁶⁹.
- Se concluye que en la evaluación técnica demuestra que el desempeño de los equipos está condicionado para implementar los sistemas ideales de climatización, sin embargo, el desempeño de equipos fue bueno a nivel operacional, ya que tienen un cumplimiento superior al 83% respecto al coeficiente de rendimiento y al factor de eficiencia energética, sin embargo, la capacidad instalada de estos no cumple con los escenarios ambientales críticos que están sometidas las instalaciones.
- Se reitera que los parámetros de ambiente interior y de equipos de climatización identificados, pueden ser utilizados y referenciados para implementar la evaluación técnica de este proceso en salas limpias de instalaciones de salud de todo el territorio nacional, a partir del estudio realizado de las normativas vigentes, y del modelo de desarrollo de la metodología de evaluación en el numeral 2.4.

¹⁶⁹ Massachusetts Medical Society. Office-Based Surgery Guidelines. Healthcare Purchasing News, 2011. ISSN: 1098-3716. p. 8

- Tras la ejecución del análisis comparativo, se resalta el incumplimiento de los parámetros diseño e instalación de los ambientes interiores evaluados, ya que están directamente relacionados con la generación de agentes contaminantes. Es importante que se haga un estudio detallado de los parámetros arquitectónicos y de obra civil que deben regularse para la construcción de instalaciones de salud en Colombia, diferentes de los parámetros de diseño estudiados en este proyecto.
- Después de determinar los costos del desarrollo del proyecto, se concluye que no existe una empresa en Colombia específicamente dedicada a producción e instalación de materiales y parámetros de ambientes controlados para Instalaciones de salud, debido a que deben ser solicitados independientemente.

10. RECOMENDACIONES

- Aislar las rutas de aseo de los procesos hospitalarios más críticos, ya que se evidenció que estas rutas de aseo actualmente comparten el aire ambiente con las zonas blancas del hospital.
- Aplicar la metodología de cálculo implementada en este proyecto, a todo el territorio nacional; la evaluación técnica realizada se realizó en un piso térmico frío el cual sirvió de fundamento para relacionar los parámetros ambientales para el cálculo de las cargas térmicas, así mismo se identificaron todas las normativas vigentes que se relacionan directamente con el cuidado y manejo de las salas de ambiente controlado en hospitales, por último, el modelo de desarrollo de la evaluación técnica descrita en el numeral 2.4 permitirá desarrollar el mismo estudio en las diferentes instalaciones de salud del país.
- Se debe especificar los valores precisos para la presión diferencial de las áreas críticas respecto a las áreas adyacentes, ya que los rangos estipulados en documentos técnicos no están validados por un cuerpo normativo, ya que en la información técnica referenciada, no se encontraron los valores precisos sobre los cuales se deben adecuar las salas limpias, se encontró que todas las áreas evaluadas deben contar con una presión diferencial positiva respecto a las áreas adyacentes, sin embargo, la información técnica recolectada no especifica los valores de dicho diferencial de presión, el cual desempeña un papel muy importante en el diseño de quirófanos, salas de parto, neonatología, cuartos de aislamiento de pacientes inmunodeprimidos, cuartos de aislamiento de pacientes infectocontagiosos, entre otras áreas críticas.
- Se recomienda que los informes de validación presentados por las centrales de mantenimiento a las direcciones de salud regionales en Colombia referencien los parámetros evaluados con normativas y parámetros técnicos, que permitan la coherencia entre las exigencias establecidas con las validaciones realizadas, es decir, a pesar de que las instalaciones de salud cumplen con la normativa nacional, no cumplen con los estándares de las normativas internacionales, ya que los soportes técnicos de los informes de validación no están actualizados.
- Utilizar sistemas de climatización TECAM Harmony® ya que son sistemas de manejo de aire que son amigables con el medio ambiente tras utilizar refrigerantes como el R410A, este modelo de equipos corresponde al equivalente de los equipos actualmente instalados, los cuales se encuentran fuera del mercado.

- Atender las exigencias establecidas por la ASHRAE para el manejo de los filtros de alta eficiencia (HEPA) para los servicios de salud más críticos, por ejemplo, se recomienda diseñar los sistemas de ventilación con filtros de alta eficiencia ubicados tanto en la manejadora como justo antes de las rejillas de Impulsión de las salas de cirugía, ya que actualmente en las rejillas de impulsión al interior de las salas del hospital evaluado, no existe la instalación de filtros de alta eficiencia.
- Profundizar en la implementación de los filtros de alta eficiencia (HEPA) en los cuartos de aislamiento para cuidados intensivos. Ya que en el diseño de estos ambientes hace falta especificar el tipo de filtros que se deberían utilizar tanto en la Impulsión como en la extracción de aire en su interior.
- El hospital seleccionado debe implementar estrategias para generar conciencia en sus colaboradores en relación con la importancia del correcto manejo de las salas limpias, de modo que la operación de estas esté relacionada con el buen manejo de las ventanas, puertas y todos los aspectos interiores que intervienen en la calidad del aire al interior de las áreas críticas y que dependen de la manipulación del personal responsable de cada área de especialidad del hospital.
- Las UMAs de la marca TECAM, permiten la utilización de equipos de monitoreo del diferencial de presión en la entrada y salida de los filtros de alta eficiencia (HEPA) en su interior, sin embargo, estos complementos no se encuentran instalados en el hospital evaluado. Se recomienda utilizar estos accesorios para optimizar el monitoreo de la calidad del aire ambiente que ingresa a las instalaciones, para tener control sobre la condición de los filtros y evitar esperar a que se cambien hasta que llegue la fecha de reemplazo de estos, de modo que por su condición se pueda evidenciar la suficiente pérdida de la eficiencia, determinada a partir del diferencial de presión.
- Se recomienda implementar un control de inventario, para que siempre exista la posibilidad de cambiar los filtros en el momento en el que su condición lo establezca, de modo que se pueda mitigar el riesgo de utilizar filtros en mal estado mientras que se realiza la compra de los repuestos.
- Se sugiere que el personal del hospital tenga acceso al seminario de formación en calidad ambiental en hospitales, quirófanos y áreas de ambientes controlados, dictado por ACAIRE, para que los interesados puedan reconocer los riesgos biológicos que intervienen en servicio de salud.

BIBLIOGRAFIA

ANSI and ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Standard 55 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. [0]: 2013.

ARCHUNDIA GARCÍA, Abel. Cirugía 1: educación quirúrgica (6a. ed.). México, D.F.: McGraw-Hill Interamericana, 2017. ISBN 978-607-15-1411-0

ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. HVAC design manual for hospitals and clinics, second edition. 2nd ed. ed. Atlanta, Ga: ASHRAE, 2013. ISBN: 978-1-936504-39-8

ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Chapter 24 Refrigerated-Facility Loads. En: Anonymous ASHRAE Handbook - Refrigeration (SI Edition). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, 2014. ISBN: 9781-936504725

ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Chapter 18 Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations. En: Anonymous ASHRAE® Handbook - Fundamentals (SI Edition). 2017a. ISBN: 978-1-939200-58-7

ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Chapter 30 Thermophysical Properties of Refrigerants. En: Anonymous ASHRAE® Handbook - Fundamentals (SI Edition). 2017b. ISBN: 978-1-939200-58-7

ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Standard 170 Ventilation of Health Care Facilities. 2008 ISBN: 1031-2336

Asociación Colombiana De Acondicionamiento Del Aire Y De La Refrigeración (ACAIRE). La cadena de frio de las vacunas. En: REVISTA DE TECNOLOGIA DEL AIRE.

Asociación Colombiana De Acondicionamiento Del Aire Y De La Refrigeración (ACAIRE). La cadena de frio en la ciencia forense. En: REVISTA DE TECNOLOGIA DEL AIRE.

Asociación Colombiana De Acondicionamiento Del Aire Y De La Refrigeración (ACAIRE). Órganos vivos en la cadena de frio. En: REVISTA DE TECNOLOGIA DEL AIRE.

ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, (AENOR). UNE 100713 Instalaciones de acondicionamiento de aire en Hospitales. (septiembre,). 2005.

Asociación española de Normalización y Certificación, (AENOR). UNE 171340 validación y cualificación de salas de ambiente controlado en hospitales. [0]: Madrid España: 2011a.

ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, (AENOR). UNE-EN 12464-1. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo en interiores. 2011b.

ATKINSON, James. Natural ventilation for infection control in health-care settings. 2009.

AULÍ, Enric. Sostenibilidad en centros sanitarios. 1st ed. Barcelona: Plataforma, 2010. 119-124 p.

BAO RIOS, Carmela. Desarrollo de una herramienta de cálculo del rendimiento estacional de bombas de calor según la norma UNE-EN 14825. Trabajo en fin de master universitario en Ingeniería Industrial. Barcelona, España: 2017.

BORGNAKKE, Claus and SONNTAG, Richard Edwin. Fundamentals of Thermodynamics. 8th ed. United States: Wiley, 2013. ISBN: 978-1-118-13199-2
EUROPEAN COMMISSION. EU Guidelines to Good Manufacturing Practice (GMP) Medicinal Products for Human and Veterinary Use. (Nov 25,). Posthumanism: The Future of Homo Sapiens. 2008. p. 63-74

CARRIER, Air Conditioning Company. Manual de aire acondicionado. España: Marcombo S.A., 1980. ISBN: 84-267-0115-9

CHÉVEZ, Pedro. Energías renovables y eficiencia energética: análisis de medidas orientadas al sector residencial. Buenos Aires: Editorial Nobuko, 2017.

Classification of Health Services Providing, *et al.* Clasificación de instituciones prestadores de servicios de salud según el sistema de cuentas de la salud de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico: el caso de Colombia*. [1]:

COEPA. El Riesgo Ambiental Guía de Gerencia de Riesgos Ambientales. 2007.

COLOMBIA, MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 4445. (Diciembre 26,). Bogotá D.C., 1996.

COLOMBIA, MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Resolution 2003. (Mayo 28,). 2014.

Danfoss. Performer® scroll compressors selection & application guidelines. [0]:

Dirección Territorial de Salud de Caldas. FUNCIONES DE LA TERRITORIAL DE SALUD DE CALDAS | Territorial. [1]. Disponible en: <http://saluddecaldas.gov.co/funciones-de-la-territorial-de-salud-de-caldas/>

EPA U.S. Environmental Protection Agency. Indoor Air Quality (IAQ). [0]. Disponible en: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/introduction-indoor-air-quality>

ESCUADERO, Cristina and IGLESIAS, Pablo F. Máquinas y equipos térmicos. Madrid, España: Parainfo S.A., 2013. ISBN: 978-84-9732-261-4

Flir systems Inc. User Guide Humidity / Temperature Datalogger RHT10. [0]:Nashua, USA: 2014.

FRANCO, Juan M. Manual de refrigeración. Barcelona, España: Reverté S.A., 2012. ISBN: 978-84-291-9211-7

Full Gauge controls. User Guide Penta III. [0]: Brazil:

GARCÍA ALMIÑANA, Daniel. Instalaciones de refrigeración y aire acondicionado. Barcelona: Editorial UOC, 2007.

GOBERNA, Ricardo. Ventilación Industrial. España: 1992. ISBN 87-7890-818-8

GONZÁLEZ SIERRA, Carlos. Refrigeración industrial: montaje y mantenimiento de instalaciones frigoríficas. Barcelona: Cano Pina, 2012. ISBN: 978-841-588-408-8

GONZÁLEZ SIERRA, Carlos. Diseño y cálculo de instalaciones de climatización. Barcelona: Cano Pina, 2013.

IAASE S.A. Ingeniería en Acondicionamiento del Airey Sistemas de Enfriamiento. Diseño y Control de Sistemas de Aire Acondicionado para Cuartos Limpios. 1st ed. México: 17-18 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C.: El instituto, 2018. ISBN: 9789588585673

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Salas limpias y Ambientes Controlados Asociados Parte 1: Clasificación de limpieza de aire por concentración de partículas. NTC-ISO 14644-1 2016.

IDEAM. Valores Medios Multianuales de Humedad Relativa en % Periodo 1981 - 2010. [0]. Disponible en: http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Humedad-relativa_tabla.pdf

IDEAM. Boletín climatológico mensual. [0]: 2018.
La Patria. 32°C, la temperatura máxima de la última semana en Manizales. [0]. Junio 25,. Disponible en: <http://www.lapatria.com/>

LEICA GEOSYSTEMS, A. G. User guide Leica Disto E7500i. [0]: Heerbrygg, Suiza: 2015.

MENDOZA RAMÍREZ, Antonio Jesús. Eficiencia energética en las instalaciones de climatización en los edificios (UF0566). Málaga: IC Editorial, 2013. ISBN: 978-8-416-27144-3

MINISTERIO DE AMBIENTE. Índice de calidad ambiental urbana (ICAU).

MINISTERIO DE INDUSTRIA ENERGÍA Y TURISMO. Reglamento Técnico de Instalaciones Térmicas en Edificaciones (RITE). [0]: Madrid, España: 2013.

Ministerio de Salud y Protección Social Dirección de Promoción y Prevención Subdirección de Enfermedades Transmisibles. PROGRAMA DE PREVENCIÓN, VIGILANCIA Y CONTROL DE INFECCIONES ASOCIADAS A LA ATENCIÓN EN SALUD-IAAS Y LA RESISTENCIA ANTIMICROBIANA. [0]:2018.

MIRANDA, Ángel Luis. Técnicas de climatización (2a. ed.). Barcelona: Marcombo, 2008.

MOLANO, Joaquin and BATISTA, Jose M. Calendario Climatológico Aeronáutico. En: SOCIEDAD GEOGRAFICA DE COLOMBIA. vol. 95-96,

MORAN, Michael J. and SHAPIRO, Howard N. Fundamentals of Engineering Thermodynamics. 5th ed. Southern Gate, Chichester: John Wiley & Sons, Inc, 2006.

Multiaires coolair. Tecnología Inverter ¿Que es y como funciona? [0]. Dic 19,. Disponible en: <http://multiaires.com/tecnologia-inverter-que-es-y-como-funciona/>

Office of Disease Prevention and Health Promotion, (ODPHP). Health Care - Associated Infections. [0]. Disponible en: <https://health.gov>

PUERTO, Efraín A. Guía técnica para el diseño de cuartos fríos. Universidad Nacional de Colombia. [0]:

PUERTO, Efraín A. Capítulo, Presión Atmosférica. [0]. Feb 26,. Disponible en: <https://efrainpuerto.wordpress.com>

RIVERA-TRIVINO, Andrés Felipe; PRADA-RIOS, Sergio Iván and PEREZ-CASTANO, Ana Melissa. Clasificación de instituciones prestadores de servicios de salud según el sistema de cuentas de la salud de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico: el caso de Colombia. En: REVISTA GERENCIA Y POLITICAS DE SALUD. Jan 1, vol. 16, no. 32, p. 51

ROJAS TREJOS, Carlos Alberto. Problema de decisión multicriterio. [0]:2016.

SERWAY, Raymond. Física para Ciencias e Ingeniería Vol I. 7th ed. Cengage Learning Editores, 2008. 532 p. ISBN 9789706868220

TECAM S.A. SISTEMAS DIVIDIDOS. Unidades Condensadoras y Unidades Manejadoras. [0]:4th ed. 2017.

TODOEEXPERTOS. Consumo de energía de motor trifásico. [0]. Nov 03. Disponible en: <https://www.todoexpertos.com/categorias/ciencias-e-ingenieria/ingenieria-electrica/respuestas/2240779/consumo-de-energia-de-motor-trifasico>

Unidad Condensadora, Equipos de entrega inmediata. Unidad condensadora. [0]. Disponible en: <https://unidadcondensadora.com/>

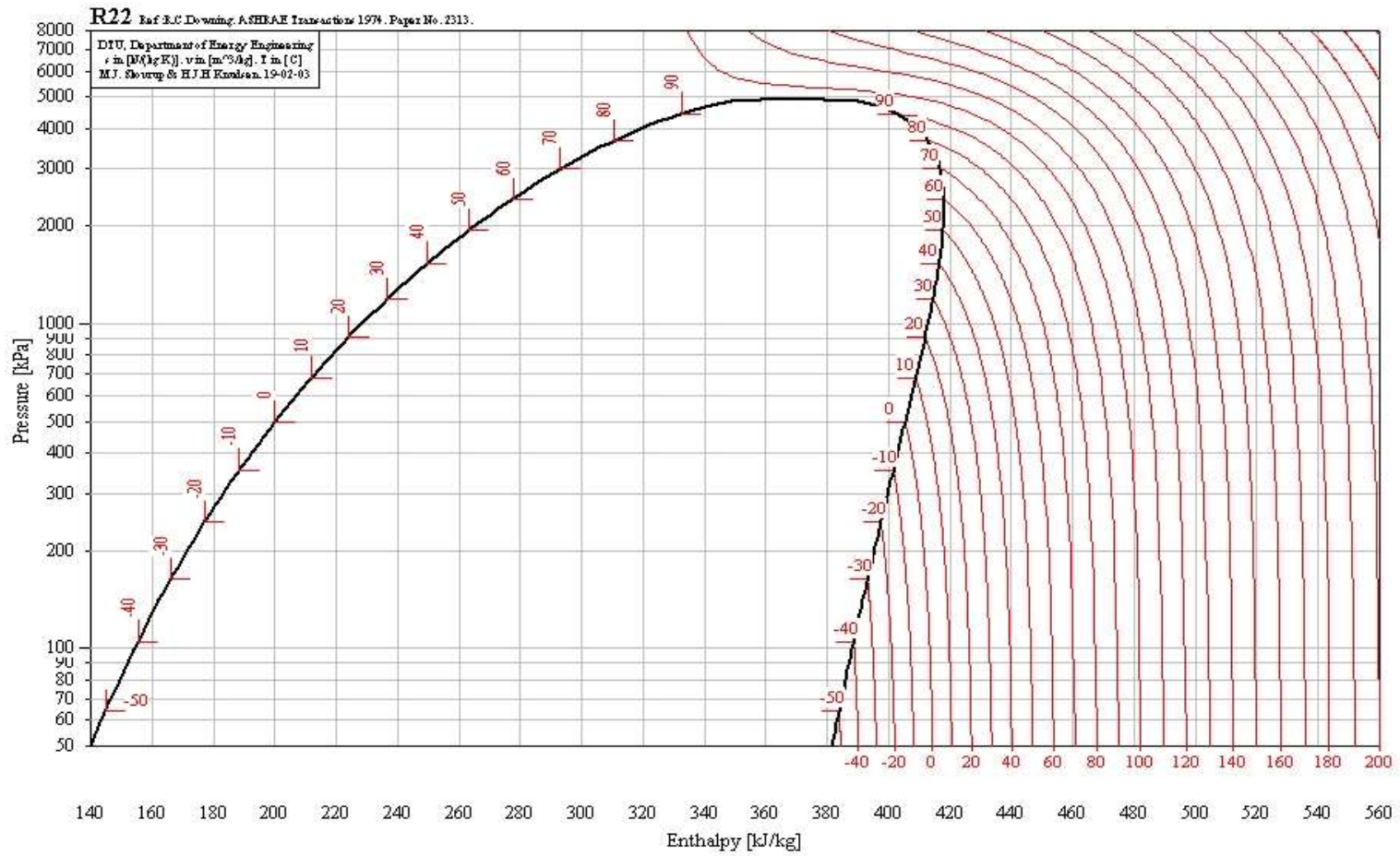
YUNUS A. CENGEL and MICHAEL A. BOLES. Termodinámica. 8th ed. México, D.F.: McGraw-Hill Education, 2015. 729 p. ISBN 978-607-15-1281-9

ANEXOS

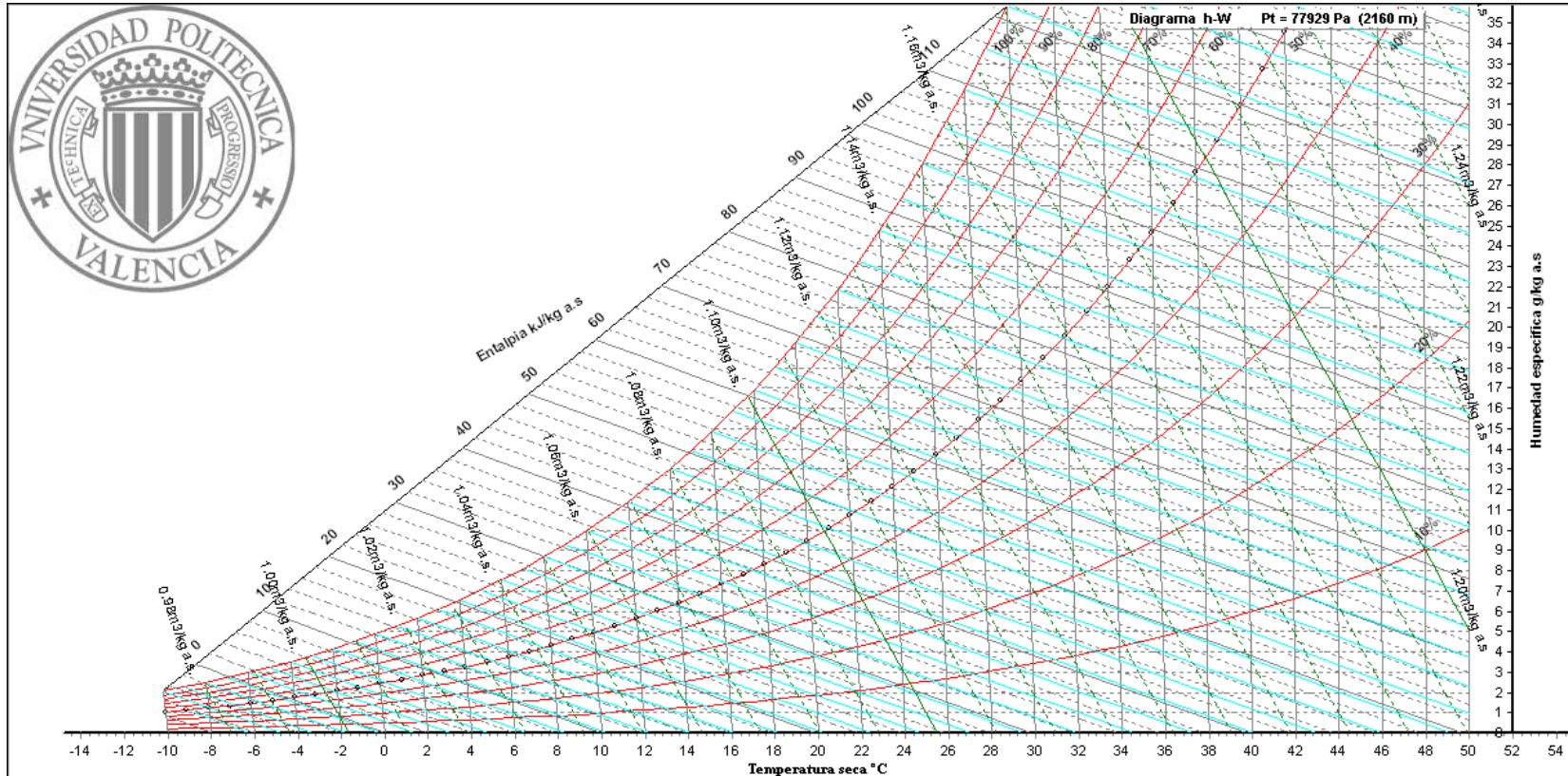
ANEXO A.
PROPIEDADES DE LA ATMOSFERA A GRAN ALTITUD

T (°C)	P_{ws} (kPa)	W_s (kg_w/kg_a)	v_a (m³/kg_a)	h_a (kJ/kg_a)	h_w (kJ/kg_w)	h_s (kJ/kg_a)	h_{wi} (kJ/kg_{wi})
36,00	5,94663	0,0389854	0,9304	36,240	2.566,29	136,288	150,96
37,00	6,28097	0,0413245	0,9367	37,249	2.568,09	143,374	155,14
38,00	6,63146	0,0437946	0,9432	38,257	2.569,88	150,804	159,32
39,00	6,99873	0,0464030	0,9500	39,266	2.571,67	158,599	163,50
40,00	7,38345	0,0491574	0,9569	40,274	2.573,46	166,779	167,68
41,00	7,78629	0,0520662	0,9641	41,283	2.575,25	175,366	171,85
42,00	8,20795	0,0551383	0,9715	42,292	2.577,03	184,385	176,03
43,00	8,64916	0,5833830	0,9793	43,301	2.578,82	193,860	180,21
44,00	9,11066	0,0618106	0,9873	44,310	2.580,60	203,819	184,38
45,00	9,59320	0,0654319	0,9956	45,320	2.582,38	214,290	188,56
46,00	10,09758	0,0692585	1,0042	46,329	2.584,16	225,304	192,73
47,00	10,62459	0,0733029	1,0132	47,339	2.585,94	236,896	196,90
48,00	11,17507	0,0775785	1,0226	48,349	2.587,72	249,100	201,08
49,00	11,74986	0,0820997	1,0324	49,358	2.589,50	261,955	205,25
50,00	12,34983	0,0868775	1,0426	50,369	2.591,27	275,492	209,42

ANEXO B.
DIAGRAMA DE MOLLIER PARA REFRIGERANTE R22



ANEXO C.
CARTA PSICROMÉTRICA PARA LA ALTITUD DE MANIZALES



ANEXO D.
PROPIEDADES TERMO FÍSICAS DEL REFRIGERANTE R22

Temp., ^a °C	Pres- sure, MPa	Density, Volume, kg/m ³ , m ³ /kg		Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg·K)		Specific Heat c _p , kJ/(kg·K)		Velocity of Sound, m/s	Viscosity, μPa·s		Thermal Cond., mW/(m·K)		Surface Tension, mN/m	Temp., ^a °C		
		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor				
-100	0.00201	1571.3	8.26600	90.71	358.97	0.5050	2.0543	1.061	0.497	1.243	1127	143.6	845.8	7.25	143.1	4.46	28.12	-100
-90	0.00481	1544.9	3.64480	101.32	363.85	0.5646	1.9980	1.061	0.512	1.237	1080	147.0	699.4	7.67	137.8	4.84	26.36	-90
-80	0.01037	1518.2	1.77820	111.94	368.77	0.6210	1.9508	1.062	0.528	1.233	1033	150.3	591.0	8.09	132.6	5.25	24.63	-80
-70	0.02047	1491.2	0.94342	122.58	373.70	0.6747	1.9108	1.065	0.545	1.231	986	153.3	507.6	8.52	127.6	5.68	22.92	-70
-60	0.03750	1463.7	0.53680	133.27	378.59	0.7260	1.8770	1.071	0.564	1.230	940	156.0	441.4	8.94	122.6	6.12	21.24	-60
-50	0.06453	1435.6	0.32385	144.03	383.42	0.7752	1.8480	1.079	0.585	1.232	893	158.3	387.5	9.36	117.8	6.59	19.58	-50
-48	0.07145	1429.9	0.29453	146.19	384.37	0.7849	1.8428	1.081	0.589	1.233	884	158.7	377.8	9.45	116.9	6.69	19.25	-48
-46	0.07894	1424.2	0.26837	148.36	385.32	0.7944	1.8376	1.083	0.594	1.234	875	159.1	368.6	9.53	115.9	6.79	18.92	-46
-44	0.08705	1418.4	0.24498	150.53	386.26	0.8039	1.8327	1.086	0.599	1.235	865	159.5	359.6	9.62	115.0	6.89	18.59	-44
-42	0.09580	1412.6	0.22402	152.70	387.20	0.8134	1.8278	1.088	0.603	1.236	856	159.9	351.0	9.70	114.0	6.99	18.27	-42
-40.81 ^b	0.10132	1409.2	0.21260	154.00	387.75	0.8189	1.8250	1.090	0.606	1.236	851	160.1	346.0	9.75	113.5	7.05	18.08	-40.81
-40	0.10523	1406.8	0.20521	154.89	388.13	0.8227	1.8231	1.091	0.608	1.237	847	160.3	342.6	9.79	113.1	7.09	17.94	-40
-38	0.11538	1401.0	0.18829	157.07	389.06	0.8320	1.8186	1.093	0.613	1.238	838	160.6	334.5	9.87	112.2	7.19	17.62	-38
-36	0.12628	1395.1	0.17304	159.27	389.97	0.8413	1.8141	1.096	0.619	1.239	828	160.9	326.7	9.96	111.2	7.29	17.30	-36
-34	0.13797	1389.1	0.15927	161.47	390.89	0.8505	1.8098	1.099	0.624	1.241	819	161.2	319.1	10.04	110.3	7.40	16.98	-34
-32	0.15050	1383.2	0.14682	163.67	391.79	0.8596	1.8056	1.102	0.629	1.242	810	161.5	311.7	10.12	109.4	7.51	16.66	-32
-30	0.16389	1377.2	0.13553	165.88	392.69	0.8687	1.8015	1.105	0.635	1.244	800	161.8	304.6	10.21	108.5	7.61	16.34	-30
-28	0.17819	1371.1	0.12528	168.10	393.58	0.8778	1.7975	1.108	0.641	1.246	791	162.0	297.7	10.29	107.5	7.72	16.02	-28
-26	0.19344	1365.0	0.11597	170.33	394.47	0.8868	1.7937	1.112	0.646	1.248	782	162.3	291.0	10.38	106.6	7.83	15.70	-26
-24	0.20968	1358.9	0.10749	172.56	395.34	0.8957	1.7899	1.115	0.653	1.250	772	162.5	284.4	10.46	105.7	7.94	15.39	-24
-22	0.22696	1352.7	0.09975	174.80	396.21	0.9046	1.7862	1.119	0.659	1.253	763	162.7	278.1	10.55	104.8	8.06	15.07	-22
-20	0.24531	1346.5	0.09268	177.04	397.06	0.9135	1.7826	1.123	0.665	1.255	754	162.8	271.9	10.63	103.9	8.17	14.76	-20
-18	0.26479	1340.3	0.08621	179.30	397.91	0.9223	1.7791	1.127	0.672	1.258	744	163.0	265.9	10.72	103.0	8.29	14.45	-18
-16	0.28543	1334.0	0.08029	181.56	398.75	0.9311	1.7757	1.131	0.678	1.261	735	163.1	260.1	10.80	102.1	8.40	14.14	-16
-14	0.30728	1327.6	0.07485	183.83	399.57	0.9398	1.7723	1.135	0.685	1.264	726	163.2	254.4	10.89	101.1	8.52	13.83	-14
-12	0.33038	1321.2	0.06986	186.11	400.39	0.9485	1.7690	1.139	0.692	1.267	716	163.3	248.8	10.98	100.2	8.65	13.52	-12
-10	0.35479	1314.7	0.06527	188.40	401.20	0.9572	1.7658	1.144	0.699	1.270	707	163.3	243.4	11.06	99.3	8.77	13.21	-10
-8	0.38054	1308.2	0.06103	190.70	401.99	0.9658	1.7627	1.149	0.707	1.274	697	163.4	238.1	11.15	98.4	8.89	12.91	-8
-6	0.40769	1301.6	0.05713	193.01	402.77	0.9744	1.7596	1.154	0.715	1.278	688	163.4	233.0	11.24	97.5	9.02	12.60	-6
-4	0.43628	1295.0	0.05352	195.33	403.55	0.9830	1.7566	1.159	0.722	1.282	679	163.4	227.9	11.32	96.6	9.15	12.30	-4
-2	0.46636	1288.3	0.05019	197.66	404.30	0.9915	1.7536	1.164	0.731	1.287	669	163.4	223.0	11.41	95.7	9.28	12.00	-2
0	0.49799	1281.5	0.04710	200.00	405.05	1.0000	1.7507	1.169	0.739	1.291	660	163.3	218.2	11.50	94.8	9.42	11.70	0
2	0.53120	1274.7	0.04424	202.35	405.78	1.0085	1.7478	1.175	0.748	1.296	650	163.2	213.5	11.59	93.9	9.56	11.40	2
4	0.56605	1267.8	0.04159	204.71	406.50	1.0169	1.7450	1.181	0.757	1.301	641	163.1	208.9	11.68	93.1	9.70	11.10	4
6	0.60259	1260.8	0.03913	207.09	407.20	1.0254	1.7422	1.187	0.766	1.307	632	163.0	204.4	11.77	92.2	9.84	10.81	6
8	0.64088	1253.8	0.03683	209.47	407.89	1.0338	1.7395	1.193	0.775	1.313	622	162.8	200.0	11.86	91.3	9.99	10.51	8
10	0.68095	1246.7	0.03470	211.87	408.56	1.0422	1.7368	1.199	0.785	1.319	613	162.6	195.7	11.96	90.4	10.14	10.22	10
12	0.72286	1239.5	0.03271	214.28	409.21	1.0505	1.7341	1.206	0.795	1.326	603	162.4	191.5	12.05	89.5	10.29	9.93	12
14	0.76668	1232.2	0.03086	216.70	409.85	1.0589	1.7315	1.213	0.806	1.333	594	162.2	187.3	12.14	88.6	10.45	9.64	14
16	0.81244	1224.9	0.02912	219.14	410.47	1.0672	1.7289	1.220	0.817	1.340	584	161.9	183.2	12.24	87.7	10.61	9.35	16
18	0.86020	1217.4	0.02750	221.59	411.07	1.0755	1.7263	1.228	0.828	1.348	575	161.6	179.2	12.33	86.8	10.77	9.06	18
20	0.91002	1209.9	0.02599	224.06	411.66	1.0838	1.7238	1.236	0.840	1.357	565	161.3	175.3	12.43	85.9	10.95	8.78	20
22	0.96195	1202.3	0.02457	226.54	412.22	1.0921	1.7212	1.244	0.853	1.366	555	161.0	171.5	12.53	85.0	11.12	8.50	22
24	1.01600	1194.6	0.02324	229.04	412.77	1.1004	1.7187	1.252	0.866	1.375	546	160.6	167.7	12.63	84.1	11.30	8.22	24
26	1.07240	1186.7	0.02199	231.55	413.29	1.1086	1.7162	1.261	0.879	1.385	536	160.2	163.9	12.74	83.2	11.49	7.94	26
28	1.13090	1178.8	0.02082	234.08	413.79	1.1169	1.7136	1.271	0.893	1.396	527	159.7	160.3	12.84	82.3	11.69	7.66	28
30	1.19190	1170.7	0.01972	236.62	414.26	1.1252	1.7111	1.281	0.908	1.408	517	159.2	156.7	12.95	81.4	11.89	7.38	30
32	1.25520	1162.6	0.01869	239.19	414.71	1.1334	1.7086	1.291	0.924	1.420	507	158.7	153.1	13.06	80.5	12.10	7.11	32
34	1.32100	1154.3	0.01771	241.77	415.14	1.1417	1.7061	1.302	0.940	1.434	497	158.2	149.6	13.17	79.6	12.31	6.84	34
36	1.38920	1145.8	0.01679	244.38	415.54	1.1499	1.7036	1.314	0.957	1.448	487	157.6	146.1	13.28	78.7	12.54	6.57	36
38	1.46010	1137.3	0.01593	247.00	415.91	1.1582	1.7010	1.326	0.976	1.463	478	157.0	142.7	13.40	77.8	12.77	6.30	38
40	1.53360	1128.5	0.01511	249.65	416.25	1.1665	1.6985	1.339	0.995	1.480	468	156.4	139.4	13.52	76.9	13.02	6.04	40
42	1.60980	1119.6	0.01433	252.32	416.55	1.1747	1.6959	1.353	1.015	1.498	458	155.7	136.1	13.64	76.0	13.28	5.77	42
44	1.68870	1110.6	0.01360	255.01	416.83	1.1830	1.6933	1.368	1.037	1.517	448	155.0	132.8	13.77	75.1	13.55	5.51	44
46	1.77040	1101.4	0.01291	257.73	417.07	1.1913	1.6906	1.384	1.061	1.538	437	154.2	129.5	13.90	74.1	13.83	5.25	46
48	1.85510	1091.9	0.01226	260.47	417.27	1.1997	1.6879	1.401	1.086	1.561	427	153.4	126.3	14.04	73.2	14.13	5.00	48
50	1.94270	1082.3	0.01163	263.25	417.44	1.2080	1.6852	1.419	1.113	1.586	417	152.6	123.1	14.18	72.3	14.45	4.74	50
52	2.03330	1072.4	0.01104	266.05	417.56	1.2164	1.6824	1.439	1.142	1.614	407	151.7	120.0	14.32	71.4	14.78	4.49	52
54	2.12700	1062.3	0.01048	268.89	417.63	1.2248	1.6795	1.461	1.173	1.644	396	150.8	116.9	14.47	70.4	15.14	4.24	54
56	2.22390	1052.0	0.00995	271.76	417.66	1.2333	1.6766	1.485	1.208	1.677	386	149.8	113.8	14.63	69.5	15.52	4.00	56
58	2.32400	1041.3	0.00944	274.66	417.63	1.2418	1.6736	1.511	1.246	1.714	375	148.8	110.7	14.80	68.6	15.92	3.75	58
60	2.42750	1030.4	0.00896	277.61	417.55	1.2504	1.6705	1.539										