

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN APLICANDO LA NORMA FAIAR
DE CALIDAD DE AIRE INTERIOR PARA EL EDIFICIO DE ACAIRE EN BOGOTÁ
D.C.

LAURA NATALIA LÓPEZ PRADA
JUAN CAMILO MORENO MEDINA

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ, DC
2019

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN APLICANDO LA NORMA FAIAR
DE CALIDAD DE AIRE INTERIOR PARA EL EDIFICIO DE ACAIRE EN BOGOTÁ
D.C

LAURA NATALIA LÓPEZ PRADA
JUAN CAMILO MORENO MEDINA

Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ, DC
2019

Nota de aceptación

Ing. Eric Fabien Navarro Arquez

Ing. Claudio Alberto Moreno Arias

Bogotá D.C., Agosto de 2019

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente Institucional y Rector del Claustro.

Dr. MARIO POSADA GARCIA-PEÑA

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos.

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Posgrados.

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Decano General Facultad de Ingenierías.

Dr. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director del Programa de Ingeniería Mecánica.

Dr. CARLOS MAURICIO VELOZA VILLAMIL

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

Quiero dedicar este proyecto primero a Dios por permitirme cumplir esta meta en mi vida y acompañarme en cada paso que di para lograrlo, a mis padres Rafael López y Martha Prada, quienes me han dado la motivación y el apoyo incondicional para alcanzar mis metas uniendo esfuerzos para que siempre tener lo que necesito, por enseñarme a hacer cada cosa que me proponga con dedicación y ser quienes me inspiran a ser cada día mejor, a mi hermano Camilo López quien además de ser la persona que me ayuda en todo lo que necesito es un ejemplo a seguir por su perseverancia y fortaleza para afrontar las dificultades. A mis primos, tíos, abuelitos, demás familiares y amigos por siempre estar pendientes de mi proceso universitario y personal.

A la familia Moreno Medina, por su apoyo incondicional en el transcurso de toda la carrera y siempre desear lo mejor para mí. Finalmente, a Juan Camilo Moreno, por ser mi compañero en este proyecto y juntos lograr su realización con éxito y dedicación, además por estar conmigo desde el inicio de la carrera en los buenos y malos momentos, impulsándome a lograr lo que me preponía y esforzarse conmigo para que los resultados siempre fueran destacados.

Laura Natalia López Prada

Logrando alcanzar un sueño más y cumplir un objetivo muy importante en mi vida, este proyecto y toda mi carrera quiero dedicarla: Primeramente, a Dios por brindarme salud y la oportunidad de estudiar y alcanzar mis sueños y metas, a mi padre Edgar Moreno quien me ha dado la oportunidad de contar con una educación de calidad y me ha guiado y apoyado a lo largo de este proceso y desde pequeño con su conocimiento y ejemplo me ha ayudado a ser la persona que soy hoy en día, a mi madre Martha Medina quien con su amor y consejos me ha apoyado, ayudado y siempre ha estado para mí, a mis hermanos Lina y Santiago Moreno, quienes siempre son incondicionales y a mi abuelita Fabiola Calderón, quien todo el tiempo me brinda su amor, apoyo y sabiduría. Finalmente, a mi compañera en este proyecto Laura López, por ser el apoyo incondicional a lo largo de mi carrera, por su contribución en el excelente desarrollo de este proyecto y por ser esa persona tolerante, dedicada y siempre distinguida que siempre fue de gran ayuda para resolver problemas en los momentos complicados.

Juan Camilo Moreno Medina

AGRADECIMIENTOS

Con la culminación de este proyecto queremos en primer lugar agradecer a Dios por permitirnos llegar a este punto, por guiar nuestros pasos a través del camino recorrido y por siempre cuidarnos y brindarnos salud. En segundo lugar, agradecemos a nuestras familias por siempre estar para nosotros, por brindarnos un apoyo incondicional durante todo este proceso y a nuestros amigos con quienes compartimos a lo largo de toda la carrera.

Expresamos también gratitud a la Universidad y todo su cuerpo de docentes por compartirnos sus conocimientos, instruirnos y contribuir en nuestra formación como profesionales integrales, en especial al Ingeniero Carlos Mendoza quien estuvo acompañándonos y guiándonos en el desarrollo de este proyecto.

Por último, agradecemos a ACAIRE por darnos la oportunidad de desarrollar el proyecto en sus instalaciones, por brindarnos todo su apoyo con recursos técnicos y físicos, en especial a su director técnico el Ingeniero Bolívar Monroy quien nos acompañó en todo el proceso y aportó su conocimiento en Aire Acondicionado y Refrigeración para el correcto desarrollo del proyecto.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	21
1. GENERALIDADES	23
1.1 CALIDAD DE AIRE INTERIOR	23
1.1.1 Síndrome del edificio enfermo	23
1.1.2 Factores del ambiente interior	24
1.1.2.1 Factores físicos	24
1.1.2.2 Factores químicos	28
1.1.2.3 Factores biológicos	31
1.2 NORMAS ASHRAE	32
1.2.1 Normas ASHRAE estándares 15 y 34	32
1.2.2 Norma ASHRAE estándar 55	32
1.2.3 Norma ASHRAE estándar 62.1	33
1.2.4 Norma ASHRAE estándar 90.1	33
1.3 ACONDICIONAMIENTO DE AIRE	33
1.3.1 Estrategias de climatización y control de CAI	33
1.3.1.1 Ventilación natural	34
1.3.1.2 Ventilación mecánica	35
1.3.1.3 Sistemas de climatización	37
1.4 EFICIENCIA ENERGÉTICA	39
1.5 CARGAS TÉRMICAS	40
1.5.1 Transferencia de Calor por conducción	41
1.5.2 Transferencia de calor por convección	41
1.5.3 Transferencia de calor por radiación	42
1.6 PSICROMETRÍA	42
1.6.1 Propiedades del aire	43
1.6.1.1 Temperatura de bulbo seco	43
1.6.1.2 Temperatura de bulbo húmedo	43
1.6.1.3 Temperatura del punto de rocío	44
1.6.1.4 Humedad relativa	44
1.6.1.5 Volumen específico	45
1.6.1.6 Entalpía específica	45
2. CONTEXTO	47
2.1 INVENTARIO DE ASPECTOS QUE INTERACCIONAN CON LA CAI	47
2.1.1 Ubicación Del Edificio	47

2.1.2 Usos, Actividades y Distribución del Edificio	49
2.1.3 Materiales de construcción	49
2.1.3.1 Antigüedad y estado de conservación del material	49
2.1.4 Instalaciones del edificio	50
2.1.4.1 Instalaciones de acondicionamiento de aire	50
2.1.4.2 Instalaciones de agua	50
2.1.4.3 Instalación de salubridad	50
2.1.4.4 Depósitos de combustibles	50
2.1.4.5 Instalación de transporte vertical y comunicación entre plantas	51
2.1.4.6 Zonas de aparcamiento	51
2.1.4.7 Almacenes y salas de usos especiales	51
2.1.5 Mantenimiento del edificio	51
2.1.6 Remodelación del edificio	51
3. EVALUACION SEGÚN NORMA FAIAR	52
3.1 MATRIZ DE RIESGOS: PROBABILIDAD/EFFECTOS	52
3.1.1 Análisis de la matriz de riesgo	52
3.2 PARAMETROS A ANALIZAR	54
3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE PARÁMETROS	57
3.4 ENCUESTA DE SATISFACCIÓN TÉRMICA	59
3.4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA ENCUESTA	59
4. ANALISIS DE ALTERNATIVAS	78
5. DISEÑO DETALLADO	85
5.1 DISEÑO DEDUCTERÍA	85
5.2 CALCULO DE PÉRDIDAS	92
5.2.1 Pérdidas por rozamiento	93
5.2.2 Pérdida por codos	94
5.2.3 Pérdida por reducción	95
5.2.4 Pérdidas por bifurcación o “T”	97
5.2.5 Selección de filtros	98
5.3 SELECCIÓN DEL VENTILADOR	99
5.3.1 Cálculo de cargas térmicas	99
5.3.2 Selección del ventilador	113
5.4 SELECCIÓN DE REJILLAS	116
5.5 SISTEMA DE CONTROL	117
6. VALIDACIÓN DE DATOS POR SOFTWARE	122

7. MANUALES	127
7.1 MANUAL DE INSTALACIÓN	127
7.1.1 Instalación de ductería	127
7.1.2 Instalación del módulo de ventilación	130
7.2 MANUAL DE OPERACIÓN	133
7.3 MANUAL DE MANTENIMIENTO	133
8. ANÁLISIS DE COSTOS DEL SISTEMA DISEÑADO	138
9. CONCLUSIONES	141
10. RECOMENDACIONES	142
BIBLIOGRAFÍA	143
ANEXOS	148

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Análisis microbiológico.	56
Tabla 2. Medición de parámetros-mañana	58
Tabla 3. Medición de parámetros-tarde	58
Tabla 4. Porcentajes metabólicos para tareas típicas	62
Tabla 5. Valores de aislamiento de vestimenta para conjuntos típicos	63
Tabla 6. Aislamiento de prendas de vestir	64
Tabla 7. Aislamiento típico adicional cuando se sientan en una silla	64
Tabla 8. Tiempo de renovación de aire en interiores	86
Tabla 9. Tiempo de renovación de aire ACAIRE	87
Tabla 10. Caudales de aire exterior dependiendo de la calidad de aire interior RITE	88
Tabla 11. Caudal de aire calculado VS caudal necesario según el RITE	89
Tabla 12. Velocidades recomendadas para sistemas de baja velocidad Manual de Carrier	90
Tabla 13. Velocidad de aire en los ductos ACAIRE	90
Tabla 14. Dimensión de conductos Manual de Carrier	91
Tabla 15. Cálculo de ductos	92
Tabla 16. Pérdidas por rozamiento en tramos rectos	94
Tabla 17. Cálculo de pérdidas en codos Manual de Carrier	94
Tabla 18. Pérdidas por rozamiento en codos	95
Tabla 19. Presiones dinámicas Manual de Carrier	96
Tabla 20. Pérdidas por reducción	97
Tabla 21. Pérdidas por bifurcación	98
Tabla 22. Tipo de filtro dependiendo de la calidad de aire exterior RITE	99
Tabla 23. Pérdidas totales en el sistema	99
Tabla 24. Calor producido por las personas en un espacio de acuerdo a su actividad	101
Tabla 25. Cargas internas por personas	101
Tabla 26. Valores para "a", cargas por iluminación	102
Tabla 27. Valores para "b", cargas por iluminación	102
Tabla 28. Factor de carga de enfriamiento para cargas por iluminación	103
Tabla 29. Cargas internas por iluminación	103
Tabla 30. Factor de carga de enfriamiento para cargas por equipos	104
Tabla 31. Cargas internas por equipos	104
Tabla 32. Coeficiente de sombra, cargas externas por radiación	106
Tabla 33. Ganancia solar por ubicación	106

Tabla 34. Factor de carga de enfriamiento para cargas por radiación	107
Tabla 35. Cargas externas por radiación	107
Tabla 36. Coeficiente de transferencia de calor de paredes	108
Tabla 37. Factor de carga de enfriamiento para pargas por conducción en paredes	108
Tabla 38. Coeficiente de transferencia de calor de vidrios	109
Tabla 39. Factor de carga de enfriamiento para pargas por conducción en vidrios	110
Tabla 40. Cargas externas por conducción	110
Tabla 41. Cargas térmicas presentes en ACAIRE	111
Tabla 42. Caudal necesario para retirar las cargas térmicas	112
Tabla 43. Características técnicas del módulo de calefacción	116
Tabla 44. Velocidades en rejillas de expulsión de aire	116
Tabla 45. Dimensiones de rejillas	117
Tabla 46. Informe de resultados de simulación del software CASALS	125
Tabla 47. Comparación de datos calculados VS resultados simulación	126
Tabla 48. Clasificación de ductos	127
Tabla 49. Dimensiones y separación de soportes para conductos rectangulares	129
Tabla 50. Costos de ingeniería	138
Tabla 51. Costo de los equipos de ventilación	139
Tabla 52. Costo de la red de ventilación	139
Tabla 53. Valor total del proyecto	140

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfico 1. Encuesta satisfacción térmica pregunta 1 empleados	60
Gráfico 2. Encuesta satisfacción térmica pregunta 1 conferencias en la mañana	60
Gráfico 3. Encuesta satisfacción térmica pregunta 1 conferencias en la tarde	61
Gráfico 4. Encuesta satisfacción térmica pregunta 2 empleados	65
Gráfico 5. Encuesta satisfacción térmica pregunta 2 conferencias en la mañana	66
Gráfico 6. Encuesta satisfacción térmica pregunta 2 conferencias en la tarde	66
Gráfico 7. Zona de confort térmico acaire	68
Gráfico 8. Encuesta satisfacción térmica pregunta 3 empleados	69
Gráfico 9. Encuesta satisfacción térmica pregunta 3 conferencias en la mañana	69
Gráfico 10. Encuesta satisfacción térmica pregunta 3 conferencias en la tarde	70
Gráfico 11. Encuesta satisfacción térmica pregunta 4 empleados	71
Gráfico 12. Encuesta satisfacción térmica pregunta 4 conferencias en la mañana	71
Gráfico 13. Encuesta satisfacción térmica pregunta 4 conferencias en la tarde	72
Gráfico 14. Encuesta satisfacción térmica pregunta 5 empleados	73
Gráfico 15. Encuesta satisfacción térmica pregunta 5 conferencias en la mañana	73
Gráfico 16. Encuesta satisfacción térmica pregunta 5 conferencias en la tarde	74
Gráfico 17. Encuesta satisfacción térmica pregunta 6 empleados	75
Gráfico 18. Encuesta satisfacción térmica pregunta 6 conferencias en la mañana	75
Gráfico 19. Encuesta satisfacción térmica pregunta 6 conferencias en la tarde	76
Gráfico 20. Encuesta satisfacción térmica pregunta 7 empleados	76
Gráfico 21. Encuesta satisfacción térmica pregunta 7 conferencias en la mañana	77
Gráfico 22. Encuesta satisfacción térmica pregunta 7 conferencias en la tarde	77
Gráfico 23. Pérdidas por rozamiento.	93
Gráfico 24. Pérdidas por bifurcación manual de carrier	97
Gráfico 25. Componentes vs tiempo	119
Gráfico 26. Porcentaje de costos	140

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ventilación natural	34
Figura 2. Ventilación mecánica con extracción natural	35
Figura 3. Ventilación mecánica con admisión natural y extracción forzada	36
Figura 4. Ventilación mecánica con suministro y extracción centralizados	37
Figura 5. Sistema VRF	38
Figura 6. Termómetro de bulbo húmedo.	44
Figura 7. Variación del volumen específico según la presión y la temperatura.	45
Figura 8. Edificio ACAIRE.	47
Figura 9. Ubicación ACAIRE en Bogotá.	48
Figura 10. Uso de oficinas ACAIRE.	49
Figura 11. Deterioro material de construcción.	50
Figura 12. Número mínimo de puntos de muestreo	54
Figura 13. Casa de la calidad	78
Figura 14. Selección de alternativas QFD	83
Figura 15. Selección de alternativas QFD	83
Figura 16. Cálculo de pérdidas por reducción Manual de Carrier	96
Figura 17. Selección de ventilador con software Quick Fan	114
Figura 18. Curvas de rangos de operación del ventilador	115
Figura 19. Sistema de control lazo cerrado	118
Figura 20. Diagrama de flujo	119
Figura 21. Circuito eléctrico	120
Figura 22. Arranque de motor trifásico con contactor	121
Figura 23. Parámetros iniciales para uso de software CASALS	122
Figura 24. Diseño del sistema en el software CASALS	123
Figura 25. Sistema de ductos con rejillas en software CASALS	124
Figura 26. Grafado longitudinal y transversal	128
Figura 27. Grafado de ductos	128
Figura 28. Grafado Transversal	129
Figura 29. Montaje de ductos	130
Figura 30. Montaje ducto vertical	130
Figura 31. Transporte del ventilador	131
Figura 32. Unión de módulos de filtración, calefacción y ventilación.	131
Figura 33. Nivelación de equipos	132

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Matriz de riesgo: Probabilidad/Efectos	52
Cuadro 2. Relación de aspectos ambientales y parámetros a estudiar	56
Cuadro 3. Matriz Who Vs What	80
Cuadro 4. Matriz Now vs What	81
Cuadro 5. Matriz How Vs What	82
Cuadro 6. Casa de la calidad aplicada	84
Cuadro 7. Ruta de mantenimiento	135
Cuadro 8. Procedimientos de mantenimiento	136
Cuadro 9. Evaluación higiénica de sistemas Norma FAIAR	137

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Transferencia de calor por conducción	41
Ecuación 2. Transferencia de calor por convección	42
Ecuación 3. Humedad relativa	44
Ecuación 4. Entalpía específica	45
Ecuación 5. Puntos de muestreo	54
Ecuación 6. Procedimiento matemático QFD	82
Ecuación 7. Carga sensible	100
Ecuación 8. Carga latente	100
Ecuación 9. Carga por iluminación	101
Ecuación 10. Carga por equipos	103
Ecuación 11. Resultado cargas térmicas internas	105
Ecuación 12. Cargas por radiación	105
Ecuación 13. Cargas por conducción en paredes	107
Ecuación 14. Cargas por conducción en vidrios	109
Ecuación 15. Resultado cargas térmicas externas	110
Ecuación 16. Cargas térmicas por infiltración	111
Ecuación 17. Caudal necesario para disipar las cargas térmicas	112

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. encuesta de satisfacción térmica acaire	149
Anexo B. carta psicrométrica de bogotá	150
Anexo C. pérdida por rozamiento en conducto redondo	151
Anexo D. ficha técnica del módulo de ventilación sodeca	152
Anexo E. averías más comunes en ventiladores y sus posibles causas soler & palau	153
Anexo F. perspectiva 3d sistema de ventilación planta 1	154
Anexo G. perspectiva 3d sistema de ventilación planta 2	155
Anexo H. cotización sodeca	156
Anexo I. cotización aconaire	157
Anexo J. norma faiar de control de calidad de aire en interiores en edificios	158
Anexo K. ubicación de ductos planta 1	159
Anexo L. ubicación de ductos planta 2	160
Anexo M. ubicación de equipos de ventilación	161

RESUMEN

La Asociación Colombiana De Acondicionamiento del Aire y de la Refrigeración, promoviendo el conocimiento en el uso eficiente de los sistemas de climatización en edificaciones, busco el apoyo de universidades para la implementación de la “NORMA FAIAR DE CONTROL DE CALIDAD DE AIRE EN INTERIORES EN EDIFICIOS”, en la cual se especifica el proceso necesario para evaluar la Calidad de Aire Interior y establece los requisitos de cumplimiento en cuanto a contaminantes del aire y la temperatura y humedad necesarias para lograr un espacio confortable.

Como respuesta a lo anterior, el proyecto detalla la aplicación de la norma FAIAR en ocho capítulos: el primero describe los conceptos necesarios para entender la climatización, por qué es importante el confort térmico en áreas sociales y algunos problemas actuales como lo es el Síndrome Del Edificio Enfermo (SEE).

En el segundo capítulo se identifican los aspectos que pueden afectar la calidad de aire interior, en esta fase solo se realiza inspección visual, haciendo una evaluación preliminar que determina el estado actual del edificio.

El tercer capítulo, se inició con la evaluación de los aspectos identificados en el capítulo dos, por medio de la matriz de riesgos que determina si estos deben ser valorados debido a la incidencia que pueden tener en la salud de los ocupantes del edificio o en su sensación de confort. Adicionalmente se establecieron cuales espacios son los más importantes de la edificación y se realizó la medición de los parámetros propuestos por la Norma con el fin de identificar cuáles son los contaminantes que se deben controlar.

En el capítulo 4, se realizó el análisis de alternativas, donde se evalúa los diferentes sistemas de climatización que podrían controlar las variables fuera de los parámetros. Esta evaluación se realizó por el método de QFD (Quality Function Desing), la cual permite relacionar los requerimientos de la Norma, los requerimientos deseables de diseño, con los espacios que se controlarán y las alternativas de solución, realizando matrices que califican cada aspecto.

Una vez definido el sistema de climatización se elabora el diseño detallado de la solución mostrada en el capítulo cinco, donde se especifican los equipos seleccionados, redes hidráulicas y demás componentes que permitan la operación adecuada del mismo, mejorando así la calidad de aire interior.

Posteriormente para verificar los algunos de los cálculos hechos para el sistema, se comparan con herramientas computacionales, con el fin de comprobar que el sistema diseñado es funcional.

En la última fase del proyecto se realizaron los manuales de instalación, operación y mantenimiento, así como los planos de ubicación de las redes hidráulicas y

equipos. Por último, se realizó el análisis de costos para conocer la inversión de implementar la solución para la edificación.

Palabras clave: diseño, calidad de Aire Interior (CAI), climatización, ACAIRE, confort térmico, edificación.

INTRODUCCIÓN

Las edificaciones deben promover la salud de las personas que los ocupan, es por eso que una buena calidad de aire interior (CAI), es un factor fundamental para lograrlo, para esto se deben identificar los contaminantes internos y externos que puedan afectar esta condición usando una metodología adecuada, donde deje claro los requisitos mínimos que se deben cumplir y las estrategias de recolección de datos.

En Colombia, el control de la contaminación atmosférica cada vez es más importante, siguiendo los informes de la Organización Mundial de la Salud (OMS) una de cada ocho muertes a nivel mundial es causada por la contaminación del aire, y específicamente en Colombia, para el 2015 se presentaron cerca de 10.527 muertes y 67.8 millones de síntomas y enfermedades asociadas a la contaminación ambiental, siendo el material particulado PM2.5 o menor, el contaminante con mayor potencial de afectación¹. Por otro lado, en el primer semestre del año en curso durante el cual este proyecto fue desarrollado, Bogotá estuvo en varias ocasiones con alerta ambiental.

Cuando la Calidad de Aire Interior (CAI) no es adecuada, afecta el confort de los usuarios y la productividad de los mismos, produciendo afectaciones a la salud y dando lugar al síndrome del edificio enfermo (SEE), por ello es necesario controlar la contaminación interior en edificios por medio de sistemas de climatización que garanticen las renovaciones de aire y las variables requeridas por las normativas de cada región. En el caso de Iberoamérica se está implementando la “NORMA FAIAR DE CONTROL DE CALIDAD DE AIRE EN INTERIORES EN EDIFICIOS” propuesta -por la Federación de Asociaciones Iberoamericanas de Aire Acondicionado y Refrigeración – FAIAR, y la cual será la base para el desarrollo de este proyecto.

La “Norma FAIAR de Control de Calidad de Aire en Interiores en Edificios” describe la metodología necesaria para realizar un plan de control para la calidad del aire, teniendo en cuenta factores climatológicos locales, los usos y materiales constructivos de las edificaciones, entre otros. Esta norma tiene aplicación en todo tipo de ambientes interiores, exceptuando los espacios dedicados a procesos industriales y/o agrícolas, y las áreas críticas de hospitales, debido a que estas tienen niveles de calidad diferentes.

El desarrollo de este proyecto, se hace atendiendo el inconformismo de usuarios y visitantes en las instalaciones de ACAIRE, con el fin de determinar la CAI en esta edificación y proponer un sistema de climatización que mejore las condiciones actuales. Para tal fin, se siguió la metodología planteada por la norma y con la cual se establecieron los siguientes objetivos específicos;

¹ IDEAM. Calidad del aire. {En Línea}. {3 de Marzo de 2019}. Disponible en: (<http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire>)

- Evaluar las condiciones interiores en el edificio
- Definir el diseño conceptual y alternativas
- Determinar los parámetros y requerimientos de diseño
- Realizar el diseño detallado del sistema de climatización
- Validar los cálculos de diseño por medio de un software
- Elaborar planos de ubicación de equipos y redes
- Elaborar manuales de instalación, operación y mantenimiento
- Realizar un análisis de costos del sistema de climatización diseñado

El alcance del proyecto es la evaluación de la CAI y el diseño del sistema de climatización, por lo tanto, la fase de implementación no es responsabilidad de los proponentes.

1. GENERALIDADES

1.1 CALIDAD DE AIRE INTERIOR

Son las propiedades que debe tener un ambiente² para evitar la propagación de enfermedades a los ocupantes de un recinto y asegurar así un alto nivel de confort para las personas que se encuentren en el mismo.

Según la Norma UNE 100 011-91 la calidad de aire interior es aceptable cuando no contiene sustancias contaminantes en cantidades tales que resulten nocivas para la salud y cuya calidad sea juzgada satisfactoria por al menos el 80% de las personas expuestas a sus efectos.

Los efectos de una baja calidad de aire interior³ se manifiestan mediante diferentes síntomas en las personas tales como: irritación, escozor y lagrimeo en los ojos; congestión, mucosidad, picor y estornudos en la nariz; dolor, inflamación y sequedad en la garganta.

Estos efectos generan un mayor costo de personal, de producción e incremento en la conflictividad laboral debido al bajo rendimiento que pueden presentar las personas, siendo esta la principal razón para controlar este parámetro.

Según el ASHRAE la calidad de aire interior⁴ se da teniendo en cuenta los siguientes elementos: control de la fuente de contaminación, ventilación propicia, control de la humedad y filtración adecuada.

1.1.1 Síndrome del edificio enfermo. La Organización Mundial de la salud (OMS) define el Síndrome del Edificio Enfermo (SEE) como “un conjunto de variados síntomas que experimentan predominantemente por personas que trabajan en edificios con aire acondicionado, aunque también se ha observado en edificios con ventilación natural”.⁵ Teniendo en cuenta que las personas están en recintos cerrados la mayor parte del día, la Calidad de Aire interior resulta importante para el estudio del confort humano y los aspectos que pueden afectarlo, como el ruido, los olores e iluminación.

² REY MARTINEZ, Francisco. Calidad de ambientes interiores. Thomson, 2007

³ GONZÁLEZ RUIZ, Agustín., FLORÍA, Pedro y GONZÁLEZ MAESTRE, Diego. Manual para la prevención de riesgos laborales en las oficinas. Madrid: FC Editorial, 2003. 79p.

⁴ YARKE, Eduardo. Fundamentos y Métodos de cálculo para aplicación de Ingenieros y Arquitectos “Ventilación Natural en Edificios”. Buenos Aires: Nobuko, 2005. 14p.

⁵ ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Guidelines for Indoor Air Quality – Selected Pollutants, Euro Reports and Studies. OMS, 2010. 184p – 192p. ISBN 978 92 890 0213 4

Un edificio se diagnostica con SEE cuando el 20% o más de sus ocupantes presentan síntomas como náuseas, mareos, resfriados persistentes e irritación en las vías respiratorias, piel y ojos, dolor de cabeza, fatiga mental, entre otros; por otra parte, un edificio que puede controlar la ventilación, el confort térmico, el polvo u otras variables puede considerarse como un edificio sano. La oficina para la Salud y la seguridad del Reino Unido señala que las consecuencias de este síndrome afectan las actitudes de los trabajadores, representando un costo significativo para las empresas debido a la baja productividad, ausentismo e interrupciones prolongadas.⁶

La OMS estableció dos grupos para clasificar los edificios, el primero es el Edificio Temporalmente Enfermo, en el cual se caracterizan edificios recién construidos o con remodelaciones recientes, en estos se presentan altas concentraciones de VOC (Compuestos Orgánicos Volátiles) generados por los materiales de construcción; adicionalmente los síntomas disminuyen a medida que pasa el tiempo. El segundo grupo se denomina Edificio Permanentemente Enfermo y es aquel en el que los síntomas se presentan durante varios años sin disminuir, estos se ven afectados por los sistemas de climatización, ventilación e iluminación.⁷

Para determinar si un edificio puede considerarse con SEE se debe realizar una investigación previa para determinar la calidad del aire, midiendo parámetros como temperatura, humedad relativa, concentración de dióxido y monóxido de carbono, y partículas en suspensión.

También es importante aplicar medidas correctoras cuando se verifique que el SEE está presente en la edificación, instalando sistemas de ventilación que permitan la renovación del aire cumpliendo los requerimientos exigidos por el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), y controlando el aire tomado del exterior por medio de filtración y purificación de aire.⁸

1.1.2 Factores del ambiente interior. Los factores presentes en el ambiente interior se clasifican en factores físicos, químicos y biológicos.

1.1.2.1 Factores físicos. Los factores físicos que afectan ambientes interiores, se definen como aquellos que permiten sentir al cuerpo humano las modificaciones que el ambiente presenta.

➤ **Confort térmico.** según la Norma ASHRAE 55 el confort térmico es una condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico. Debido a que hay

⁶ DIARIO EL TIEMPO. El Síndrome del Edificio Enfermo. {En Línea}. {3 de Marzo de 2019}. Disponible en: (<https://www.eltiempo.com/vida/salud/sintomas-del-sindrome-del-edificio-enfermo-59885>)

⁷ SOLER & PALAU. ¿Qué es el síndrome del edificio enfermo?. {En Línea}. {3 de Marzo de 2019}. Disponible en: (<https://www.solerpalau.com/es-es/blog/sindrome-edificio-enfermo/>)

⁸ Ibíd.

variación entre las personas las condiciones ambientales requeridas para el confort se han establecido por medio de estadísticas. Existen seis factores principales que afectan las condiciones para un buen confort térmico, estos son: porcentaje metabólico, aislamiento de ropa, temperatura de aire, temperatura radiante, velocidad de aire y humedad.

Si no se tiene un buen confort⁹ en una habitación bien sea por frío o por calor el organismo es obligado a realizar cambios fisiológicos para conservar la temperatura dentro de los límites de cada persona, esto ocasiona molestias de tipo psicológico, aunque no haya daños fisiológicos, que puede producir baja productividad en las tareas de las personas. En condiciones extremas no hay equilibrio térmico entre el organismo y el medio ambiente, es por esto que el confort térmico se logra cuando un organismo mantiene su temperatura interna dentro de rangos normales sin necesidad de hacer variaciones debido al medio ambiente en el que se encuentra.

➤ **Temperatura:** La temperatura es uno de los factores que determina el confort térmico de una persona, normalmente el cuerpo se mantiene en los 37°C y por medio de los mecanismos termorreguladores es capaz de ganar o perder calor en función del ambiente; por lo tanto la diferencia entre la temperatura del ambiente (temperatura seca) y la temperatura del cuerpo humano, determina la sensación de frío o calor en una persona, y el intercambio de calor entre el individuo y el aire, denominado intercambio de calor por convección. Si la temperatura corporal es mayor a la temperatura ambiental, el cuerpo cede calor por radiación al ambiente, de lo contrario, el cuerpo recibe el calor del medio¹⁰.

“El confort térmico depende del calor producido por el cuerpo y los intercambios entre este y el medio ambiente”¹¹.

Cuando no es posible mantener la temperatura interna del cuerpo, este entra en un estado de estrés térmico, produciendo el disconfort térmico y afectando la productividad y desarrollo de las tareas, conjuntamente dando lugar a problemas de salud el individuo.

Los efectos que puede sufrir una persona por el calor son, deshidratación, insolación, agotamiento, calambres, desmayos, hipertermia, entre otros. Por otro

⁹ FLORÍA, Pedro. Gestión de la higiene industrial en la empresa. 7 edición. Madrid: FC Editorial. 428p.

¹⁰ INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO (INSHT), confort térmico, Barcelona, 2017. {en línea}. ISSN: 213-7658 Disponible en: (http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/FichasNotasPracticas/Ficheros/np_enot_99.pdf)

¹¹ Ibid.

lado, el frío produce escalofríos, pérdida de destreza, falta de sensibilidad, congelación y en casos extremos la hipotermia¹².

➤ **Humedad Relativa:** La humedad relativa es la cantidad de vapor de agua que contiene el aire y al igual que la temperatura es un factor importante en el confort térmico. Si la humedad relativa de un ambiente es alta, más difícil es para el cuerpo humano perder calor a través de la sudoración, por esta razón los ambientes secos generan mayor confort térmico¹³.

Los límites ideales de la humedad relativa están entre 40% y 70%, ya que una mala humedad relativa en el ambiente, puede generar afecciones a la salud de los ocupantes, por ejemplo, una humedad relativa baja, produce irritaciones oculares, eritemas cutáneos, sequedad de las mucosas y otros síntomas que favorecen a las infecciones respiratorias, pero por otro lado una humedad relativa alta favorece la proliferación de microorganismos que contaminan el ambiente¹⁴.

El aire húmedo altera la sensación de confort, cuando se sitúa por encima del 60%, hace que la temperatura se sienta más elevada o más baja de lo que realmente está y además de causar las afecciones a la salud mencionadas anteriormente, se ha demostrado que aumenta las emisiones de formaldehídos, procedente de materiales como los conglomerados o aislantes¹⁵.

➤ **Material particular en el ambiente:** El material particulado son las partículas microscópicas sólidas o líquidas que se encuentran suspendidas en el aire, generalmente la densidad es mayor a la del aire, pero por cargas electrostáticas u otras razones, no se depositan en el suelo rápidamente, ya que se quedan suspendidas en el aire. Estas partículas tienen un tamaño, composición y origen muy variables, asociadas generalmente a contaminación y afectando la salud humana. Pueden producirse por un medio natural o de la actividad humana (antropogénicas)¹⁶. Estas partículas se clasifican según el origen y el tamaño,

¹² PREVENCIÓN. ¿Qué es confort térmico?. {En línea}. {2 de febrero de 2019}. Disponible en: (<http://prevencionar.com.co/2016/05/24/que-es-confort-termico/>)

¹³ INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO (INSHT), confort térmico. Op. cit.

¹⁴ LA PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LOS LUGARES DE TRABAJO. Guía para la intervención sindical. Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS). 2007. {En línea}. {20 de enero de 2019}. Disponible en: (<http://www.aragon.es/estaticos/ImportFiles/09/docs/Ciudadano/SaludPublica/SaludAmbiental/Publicaciones/mi%20oficina%20esta%20enferma.pdf>)

¹⁵ Efectos de las deficiencias energéticas en las oficinas. {En línea}. {20 de enero de 2019}. Disponible en: (https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6107/11CAPITULO2_3.pdf;sequence=11)

¹⁶ SOLER & PALAU. Partículas en suspensión: qué son, cómo nos afectan y cómo podemos reducir su presencia. {En línea}. {3 de febrero de 2019}. Disponible en: (<https://www.solerpalau.com/es-es/blog/particulas-suspension/>)

denominadas PM (Particulated Matter), seguido por el número que representa el tamaño en micrómetros (μm).

Las partículas de origen natural, tienen un tamaño mayor a las antropogénicas, y son producidas por la descomposición de rocas, actividad volcánica, polen entre otras; mientras que las partículas antropogénicas, tienen un tamaño muy pequeño que afecta más drásticamente la salud humana y son producidas por la combustión de los medios de transporte, la actividad industrial, desgaste de neumáticos en automotores, entre otros¹⁷.

Muchas ciudades a nivel mundial superan los índices de contaminación permitida por la OMS, y la principal fuente de contaminación es el tráfico motorizado de vehículos, seguido por la actividad industrial y el tráfico marítimo y aéreo. Según un artículo español, los vehículos privados son responsables de aproximadamente el 80% de la contaminación por emisión de partículas y la cifra va en crecimiento debido a la demanda de automóviles y vías en desarrollo que generaran mayores fuentes de contaminación¹⁸.

Como ya se dijo, las estas partículas están suspendidas en el aire que respiramos, lo que causa una afectación en la salud humana de acuerdo al tipo de partícula; las partículas más grandes como PM 10 son retenidas primero por la nariz y algunas en la garganta, las más pequeñas pueden llegar a los bronquios y alveolos pulmonares y las más finas como PM 0.1 pueden llegar directamente a la sangre, siendo las más peligrosas.

Los efectos en la salud depende de la cantidad de partículas inhaladas atreves del tiempo, en casos graves se presenta con enfermedades como dolencias cardiovasculares, cáncer de pulmón, arritmia cardiaca o enfermedades obstructivas, adicionalmente se ha demostrado científicamente que este tipo de contaminación provoca una reducción en la esperanza de vida de las personas¹⁹; por lo tanto se hace importante hacer control sobre la calidad del aire, y en especial en el interior de las edificaciones donde además de verse afectado por material particulado que se desprende de la papelería, también se afecta por el aire exterior, lo que hace indispensable el uso de filtros que reduzcan el ingreso de contaminación exterior hacia el interior.

¹⁷ Ibíd.

¹⁸ TERRA ECOLOGIA PRÁCTICA. Los contaminantes atmosféricos: las partículas en suspensión (PM). {En línea}. {3 de febrero de 2019}. Disponible en: (<https://www.terra.org/categorias/articulos/los-contaminantes-atmosfericos-las-particulas-en-suspension-pm>)

¹⁹ SOLER & PALAU. Partículas en suspensión: qué son, cómo nos afectan y cómo podemos reducir su presencia. op. cit.

1.1.2.2 Factores químicos. Las fuentes de contaminantes químicos generalmente se encuentran en equipos en los cuales se presentan altas temperaturas o procesos de combustión incompletos como lo son aparatos de calefacción, cocinas, estufas, refrigeradores y hornos de gas.²⁰

➤ **Dióxido de carbono:** Es un gas incoloro e inodoro, 1.5 veces más denso que el aire producido por la combustión y oxidación de materiales que contienen carbono como carbón, madera, aceite y por la fermentación de azúcares; Este es uno de los gases de efecto invernadero.²¹

El dióxido de carbono se encuentra dentro del ciclo del carbono producido por el intercambio del mismo entre el aire y el agua; el dióxido de carbono es soluble en el agua, la cual es una gran fuente de almacenamiento del mismo.

Por otro lado, las plantas hacen parte del ciclo del carbono debido a que estas toman parte de este gas del aire y del agua y lo emplean en su proceso de fotosíntesis, en el cual una parte pasa a formar parte de los tejidos vegetales, grasas y proteínas y el resto es devuelto a la atmósfera mediante la respiración. Los animales hacen parte del ciclo del carbono debido a que al alimentarse de las plantas los herbívoros absorben parte del carbono y lo desechan como dióxido de carbono, y los carnívoros al alimentarse de los herbívoros también toman parte de este carbono y por medio de la respiración lo devuelven a la atmósfera para que las plantas vuelvan a utilizarlo.²²

Se ha producido un aumento de este gas después de la revolución industrial, en la cual después de la creación de la máquina de vapor usa combustibles fósiles que entre sus componentes tienen partículas de CO₂ y por esta razón en el momento de la combustión de los mismos es arrojado a la atmósfera. Actualmente se están regulando las cantidades de CO₂ debido a que al ser un gas contribuyente al efecto invernadero este contamina el medio ambiente y aumenta los daños ambientales.²³

➤ **Monóxido de carbono:** El monóxido de carbono (CO) es un gas tóxico incoloro, inodoro, sin sabor y no irritante que es producido por la combustión incompleta de

²⁰ CARAZO FERNÁNDEZ, Luis. FERNÁNDEZ ALVAREZ, Ramón. GONZÁLEZ BARCALA, Francisco. RODRÍGUEZ PORTAL, José Antonio. Contaminación del aire interior y su impacto en la patología respiratoria. {En línea}. {5 de febrero de 2019}. Disponible en: (<https://www.archbronconeumol.org/es-contaminacion-del-aire-interior-su-articulo-S0300289612001196>)

²¹ KRAMER, Fernando. Educación ambiental para el desarrollo sostenible. Madrid: Catarata, 2003. 63p. ISBN 84-8319-165-2

²² *Ibíd.*, p. 63

²³ *Ibíd.*, p. 65

combustibles con contenido de carbón como madera, petróleo, gas natural y queroseno.²⁴

Las partículas de monóxido de carbono se mueven con el aire debido a que su peso molecular es parecido y se pueden mezclar sin importar su proporción.²⁵

La mayoría del monóxido de carbono es producido por las emisiones provenientes de procesos industriales y otra parte es producida de manera natural. Las fuentes de este gas en el interior de un recinto se deben mayormente a fuentes de combustión como lo son la cocina y los calefactores y también debido a infiltraciones de aire contaminado del exterior que se presentan por el mal sellado en rendijas de puertas y ventanas.²⁶

Los riesgos en la salud humana dependen del nivel de exposición; Un bajo nivel de exposición puede producir Hipoxia, en la cual empieza a disminuir el oxígeno en la sangre, lo que conlleva a que en una alta exposición puede causar desmayos o la muerte.²⁷

➤ **Formaldehído:** El formaldehído es un gas flamable, incoloro y altamente reactivo en espacios pequeños a temperatura ambiente. Este gas se oxida rápidamente en aire con presencia de monóxido de carbono, las reacciones químicas se dan en un promedio de una hora dependiendo de las condiciones ambientales.²⁸

Este gas puede ser encontrado de forma natural debido a la combustión de biomasa, esta se presenta en los volcanes e incendios forestales; También es producida a nivel mundial principalmente por plantas de manufactura de resinas, desinfectantes y preservativos para preservación de productos. Otra fuente común se encuentra en la oxidación de compuestos orgánicos volátiles cuando reaccionan con el ozono y el alquenos.²⁹

Los efectos del formaldehído son humedad en la mucosa nasal en exceso, irritación en los ojos y en las vías respiratorias, asma y sensación de discomfort.³⁰

➤ **Gas radón:** El radón es un gas noble, incoloro e inodoro radioactivo producido de manera natural por la descomposición del Radio en la tierra y en piedras, se hace

²⁴ ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. op. cit, p.55

²⁵ *Ibíd.*, p.55

²⁶ *Ibíd.*, p. 56

²⁷ *Ibíd.*, p. 83

²⁸ ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. op. cit, p. 103

²⁹ *Ibíd.*, p. 103

³⁰ *Ibíd.*, p. 112

presente en espacios cerrados como minas, túneles y construcciones subterráneas, siendo el mayor contribuidor de radiación por ionización.³¹

De acuerdo con estudios realizados por el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer este gas incrementa el riesgo de cáncer de pulmón, estos estudios se realizaron debido al alto porcentaje de mineros con esta enfermedad.³²

➤ **Ozono:** El ozono es una molécula formada por tres átomos de oxígeno, es un compuesto natural presente en las partes alta y baja de la atmósfera; Al estar presente en la parte alta absorbe la radiación ultravioleta, lo que facilita el desarrollo de la vida en la tierra. Pero por otra parte el ozono acumulado en la parte baja de la atmósfera, denominado ozono troposférico es un contaminante que ha venido creciendo debido a los gases generados por fábricas y principalmente por el humo de los carros. Estas moléculas se encuentran presentes principalmente en países con alta industrialización y gran cantidad de vehículos.³³

El ozono es uno de los principales componentes del “Smog” que es una niebla producto de la mezcla de vapor de agua y partículas de humo producidas generalmente por la mala combustión del combustible quemado por los automóviles. Generalmente se forma en verano cuando la temperatura es alta y no hay suficiente viento que mueva las partículas con el fin de que estas no se queden estancadas en un solo lugar. El smog es el responsable del 8% del calentamiento global.³⁴

Las principales afectaciones que puede tener el ozono en la salud son problemas oculares y respiratorios a grupos determinados de niños, ancianos y principalmente a personas con afecciones respiratorias.³⁵

➤ **Dióxido de nitrógeno:** Es un gas de efecto invernadero producido a nivel mundial principalmente por altas temperaturas presentes en procesos de combustión. El principal aportante de este gas en el aire exterior es el humo producido por los automóviles, y en espacios interiores es producido por el humo de tabaco, combustión de gas, madera, aceite, queroseno, entre otros, presentes en hornos y calentadores de agua.³⁶

Una serie de estudios realizados por la OMS han identificado que la exposición a este gas tiene efectos relacionados con problemas respiratorios, otitis, infecciones

³¹ *Ibíd.*, p. 347

³² *Ibíd.*, p. 358

³³ KRAMER, op. cit, p. 66

³⁴ *Ibíd.*, p. 67

³⁵ *Ibíd.*, p. 66

³⁶ ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. op. cit, p. 202

en la nariz y garganta, alérgenos en la comida e incremento en la coagulación sanguínea después de altos periodos de exposición.³⁷

1.1.2.3 Factores biológicos. Los contaminantes biológicos son un papel importante en el estudio de la CAI, ya que contribuyen entre el 5 y el 34% de la contaminación total existente, debido a que el aire interior contiene una mezcla de microorganismos, como toxinas, polen, ácaros, pelo o descamaciones de insectos y entre otros, que genera molestia en los ocupantes y la proliferación de enfermedades como alergias, infecciones microbianas o tóxicas³⁸.

Los microorganismos son transportados por el aire, en ocasiones también pueden entrar desde el exterior hacia el interior de las edificaciones por los espacios de las puertas o ventanas, de hecho, este tipo de contaminación ha aumentado en los últimos años a causa de la necesidad de la conservación energética de los edificios, con sistemas de renovación de aire no adecuados. Los microorganismos en el interior de una edificación se pueden producir por las siguientes causas³⁹: Presencia de seres vivos (Humanos, animales o vegetales), sistemas de acondicionamiento de aire y materiales que sirven de protección como las alfombras. Adicionalmente, la acumulación de material orgánico, como la madera, el papel, la pintura, ayudan a la nutrición y crecimiento de hongos y bacterias.⁴⁰

La presencia de hongos y bacterias, en algunos casos es un indicador de exceso de humedad en el interior de las edificaciones, de acuerdo al requerimiento de humedad relativa y/o temperatura. Por otro lado, los ácaros de polvo, son los más comunes en ambientes domésticos o de oficinas, presentes en colchones, tapizados, alfombras y muebles. Del mismo modo, las cucarachas también son comunes en estos espacios, requiriendo humedad relativa superior al 50%⁴¹.

Para controlar la contaminación biológica, es especial en ambientes críticos, es recomendable hacer una filtración de alta eficiencia en la toma de aire exterior, hacer esterilización, limpieza frecuente de filtros y equipos HVAC, control del caudal

³⁷ *Ibíd.*, p. 215

³⁸ INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Calidad del aire interior. Contaminantes biológicos (I): estrategia de muestreo. 2015. {En línea}. {10 de Abril de 2019}. p.1 Disponible en: (<https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/NTP/NTP/Ficheros/1055a1065/ntp-1064w.pdf>)

³⁹ REY MARTINEZ. op cit p.65

⁴⁰ FERNANDEZ, Luis C. Contaminación del aire interior y su impacto en la patología respiratoria. {En línea}. {10 de Abril de 2019}. p.1 Disponible en: (<https://www.archbronconeumol.org/es-contaminacion-del-aire-interior-su-articulo-S0300289612001196>)

⁴¹ INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Calidad del aire interior. Contaminantes biológicos (I): estrategia de muestreo. Op. cit p.2

siguiendo la normativa ASHRAE y control de temperatura y humedad relativa en los espacios⁴².

1.2 NORMAS ASHRAE

1.2.1 Normas ASHRAE estándares 15 y 34. Para el cumplimiento de las normas de seguridad es necesario tener en cuenta estos estándares en los cuales se especifica el diseño seguro, construcción, instalación y operación de sistemas de refrigeración y se establecen las medidas de seguridad para la vida, salud y propiedades y da los requerimientos de seguridad para la instalación de equipos. Además de esto se tiene en cuenta la clasificación de los refrigerantes según su toxicidad y flamabilidad con el fin de garantizar la seguridad de los ocupantes del edificio donde haya un sistema de refrigeración.⁴³

1.2.2 Norma ASHRAE estándar 55. “El propósito de esta norma es especificar las combinaciones de factores de ambiente térmicos internos y factores personales que producirán condiciones ambientales térmicas aceptables a una mayoría de los ocupantes dentro del espacio”.⁴⁴ En otras palabras esta norma define la gama de condiciones ambientales térmicas interiores que sean aceptables para la mayoría de los ocupantes.

El objeto de estudio de esta norma son factores ambientales como la velocidad del aire, la temperatura, la humedad y la radiación térmica, y factores personales como la actividad que desarrollan las personas y la indumentaria y ropa que usan en el momento. Esta norma propone las condiciones ambientales térmicas necesarias para espacios interiores no superiores a 3.000 m.s.n.m (Metros sobre el nivel del mar) en las cuales una persona que permanezca en este espacio por más de 15 minutos se sienta en condiciones de confort térmico.

Esta norma tiene como estudio factores netamente térmicos, lo que quiere decir que no estudia factores como calidad de aire, iluminación y factores acústicos ni contaminantes físicos, químicos o biológicos que puedan afectar el confort o la salud.

⁴² REY MARTINEZ. Op cit p.68

⁴³ TRANE. ASHRAE standard 15 applied to package, Split and VRF system. En: Trane Engineers Newsletter live. Vol., 37-1(Marzo.2008); p. 1-5

⁴⁴ ANSI/ASHRAE 55. Condiciones de Ambiente Térmico para Ocupación Humana. Atlanta. ASHRAE, 2010.

1.2.3 Norma ASHRAE estándar 62.1. “El propósito de esta norma es especificar las tasas de ventilación mínimas y otras medidas destinadas a proveer calidad de aire interior aceptable para los ocupantes humanos y minimizar los efectos adversos para la salud”.⁴⁵ Este estándar se debe tener en cuenta como una guía para la mejora de la calidad de aire interior en los edificios, es por esto que debe aplicarse en edificios en construcción y para hacer adiciones en edificios existentes. Además de esto esta norma muestra requerimientos adicionales para su aplicación en lugares donde la calidad de aire interior debe ser máxima como laboratorios e industria farmacéutica entre otros.

Esta norma define los requerimientos de diseño de equipos de ventilación y renovación de aire junto con su instalación, operación y mantenimiento. Al ser la calidad de aire interior el tema de estudio de esta norma no se tiene en cuenta el confort térmico dentro de la misma.

1.2.4 Norma ASHRAE estándar 90.1. Esta norma proporciona requisitos mínimos para diseños de eficiencia energética para edificios, excepto para edificios residenciales de baja altura (es decir, casas unifamiliares, edificios multifamiliares de menos de cuatro pisos, casas móviles y casas modulares).⁴⁶

1.3 ACONDICIONAMIENTO DE AIRE

El acondicionamiento de aire es comúnmente utilizado para hacer referencia a la modificación del ambiente interior en una construcción, con el fin de generar comodidad en las personas que habitan ese espacio.⁴⁷ Para mantener la temperatura y humedad deseada en un espacio, es necesario aplicar procesos de acondicionamiento de aire, en los cuales se eleva o se baja la temperatura, y se humidifica o deshumidifica el ambiente, generalmente es necesario hacer dos o más de estos procesos para conseguir los parámetros deseados.⁴⁸

1.3.1 Estrategias de climatización y control de CAI. Las estrategias de climatización son los métodos mediante los cuales se realiza el acondicionamiento del aire y el control de CAI. A continuación, se explica algunos de estos sistemas.

⁴⁵ ANSI/ASHRAE STANDARD 62.1. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta. ASHRAE, 2010.

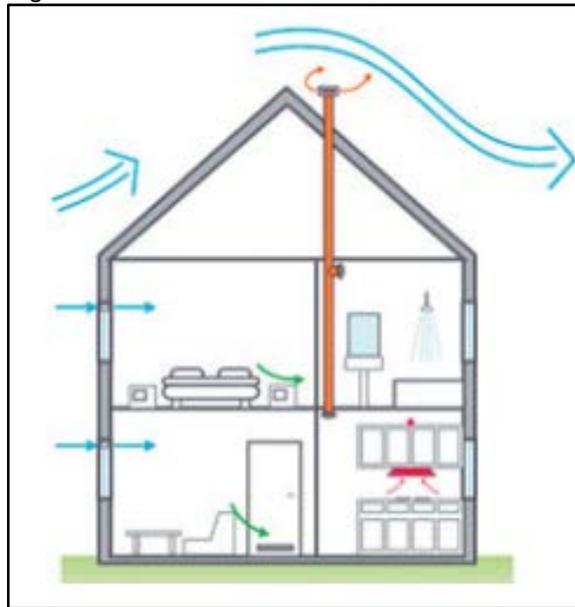
⁴⁶ ANSI/ASHRAE STANDARD 90.1. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. Atlanta. ASHRAE, 2010.

⁴⁷ DELGADO ECHEVERRI, Rodolfo. Acondicionamiento de aire. {En línea}. {12 de Abril de 2019}. Disponible en: (<https://revistas.upb.edu.co/index.php/upb/article/viewFile/3660/3248>)

⁴⁸ *Ibíd.*,

1.3.1.1 Ventilación natural. La ventilación natural es el flujo de aire desde las ventanas, puertas, rejillas o demás superficies que faciliten el ingreso de aire exterior al interior de las edificaciones, siendo producido de forma natural por la presión del viento sobre las fachadas y movimientos de aire por diferencias de temperatura. En construcciones comerciales e institucionales la ventilación natural puede ser indeseada ya que aumenta el consumo energético por calefacción debido al ingreso de aire frío y la necesidad de mantener una temperatura de confort para los ocupantes⁴⁹.

Figura 1. Ventilación natural



Fuente: CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA, COMUNIDAD DE MADRID. Guía de renovación de aire eficiente en el sector residencial. Madrid, 2014. 22p.

Dentro de las ventajas de la ventilación natural se encuentra la ausencia de consumo eléctrico debido a que no se usan equipos como ventiladores o extractores, siendo este un sistema sencillo y silencioso. Como desventajas, los caudales de aire no son garantizados debido a que estos dependen de las corrientes térmicas y la presión del viento, adicionalmente bajo confort en época de invierno

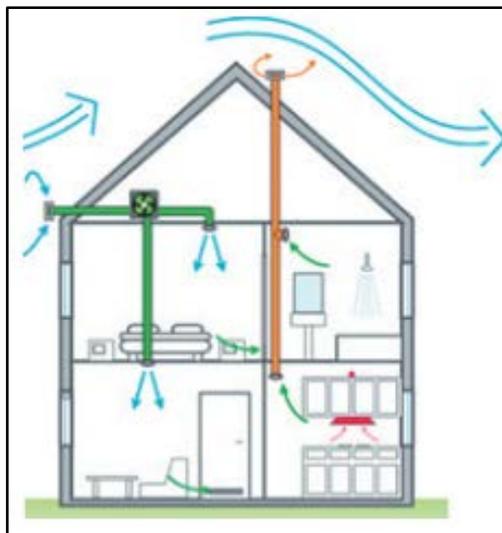
⁴⁹ HOWELL, Ronald H. Principles of Heating, Ventilating and Air Conditioning. 8th edición. Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado, Inc. (ASHRAE). 145p – 146p

debido a la entrada de aire frío que produce un aumento de consumo energético por el uso de sistemas de calefacción⁵⁰.

1.3.1.2 Ventilación mecánica. Los sistemas de ventilación mecánica son aquellos que usan uno o más ventiladores para la admisión o extracción de aire en un recinto.⁵¹

Existen varios tipos de ventilación mecánica, el primero es el uso de un ventilador de admisión que impulsa el aire a través de los ductos mientras que el sistema de extracción se hace de manera natural por medio de rejillas presentes en las zonas húmedas. Las ventajas de este tipo son que se puede controlar la admisión de aire, se puede filtrar el aire exterior y se puede aplicar un sistema de control dependiendo de la demanda de aire, dentro de sus desventajas esta la limpieza constante que se le debe realizar al sistema de ductos y el cálculo de los mismos para evitar un nivel sonoro molesto.⁵²

Figura 2. Ventilación mecánica con extracción natural



Fuente: CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA, COMUNIDAD DE MADRID. Guía de renovación de aire eficiente en el sector residencial. Madrid, 2014. 23p.

Otro tipo de ventilación mecánica se presenta cuando la admisión de aire se hace de manera natural y la extracción de aire viciado se hace por medio de un sistema de ductos conectados a un extractor mecánico centralizado, estos ductos de extracción siguen presentes en las zonas húmedas de la edificación. Las ventajas

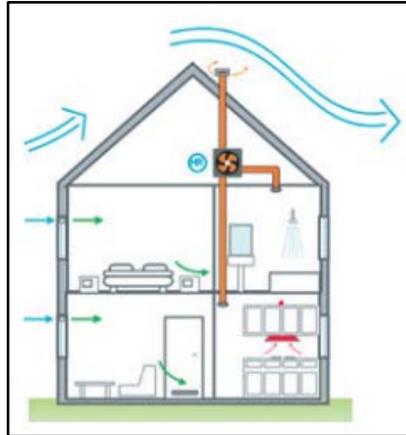
⁵⁰ CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA, COMUNIDAD DE MADRID. Guía de renovación de aire eficiente en el sector residencial. Madrid, 2014. 22p.

⁵¹ *Ibíd.*, p. 23

⁵² *Ibíd.*, p. 23

de este tipo es que es un sistema sencillo y requiere un mínimo mantenimiento, por otra parte, las desventajas es que se deben calcular y equilibrar los ductos de manera correcta para evitar altos niveles sonoros, se produce discomfort en época de invierno debido a corrientes de aire por diferencial de temperatura y se aumenta el consumo energético en casos en los que hay viento en contra de la fachada ya que se produce un caudal de aire excesivo.⁵³

Figura 3. Ventilación mecánica con admisión natural y extracción forzada



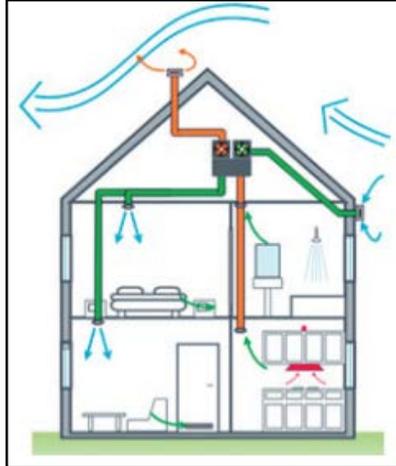
Fuente: CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA, COMUNIDAD DE MADRID. Guía de renovación de aire eficiente en el sector residencial. Madrid, 2014. 23p.

Por último, está el tipo de ventilación con admisión mecánica centralizada y extracción mecánica centralizada, en el cual el sistema funciona equilibradamente debido a que el caudal de aire suministrado es el mismo caudal de aire extraído debido a que se hace de forma centralizada. Además de esto esta configuración permite por medio de un intercambiador de calor, filtros y los ventiladores calentar el aire suministrado utilizando el aire extraído, pero sin mezclarse el uno con el otro, lo que reduce la carga de calefacción por ventilación.⁵⁴

⁵³ *Ibíd.*, p. 24

⁵⁴ *Ibíd.*, p. 27

Figura 4. Ventilación mecánica con suministro y extracción centralizados



Fuente: CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA, COMUNIDAD DE MADRID. Guía de renovación de aire eficiente en el sector residencial. Madrid, 2014. 27p.}

1.3.1.3 Sistemas de climatización.

➤ **Sistema centralizado VRF:** Los sistemas centralizados son aquellos en los que la climatización se hace por medio de una red de ducterías, proveniente de una unidad de tratamiento de aire que se encarga de distribuir el aire por las ducterías a cada espacio que se desea controlar, donde se encuentra el difusor, que se encargara de distribuir el aire en todo el espacio. ⁵⁵

⁵⁵ MAS, Jorge M. VÉLEZ ORTIZ, Roxana. DOMINGUEZ, José María. Aire acondicionado: Clasificación y características de los sistemas. Tucumán, 2011, 29p. Catedra de acondicionamiento ambiental II. Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de arquitectura y urbanismo

Figura 5. Sistema VRF



Fuente: CALOR Y FRÍO. Sistemas VRF, la climatización eficiente para edificios y locales. {En línea}. {16 de Abril de 2019}. Disponible en: (www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/aire-acondicionado-comercial/sistemas-vrf-climatizacion-eficiente-edificios-locales-comerciales-infografia.html)

Este sistema presenta tres factores que lo diferencian de otros sistemas, el primero es que es capaz de controlar la cantidad de refrigerante que fluye a través del sistema, la segunda es que cada evaporador recibe la cantidad necesaria de refrigerante para acondicionar el espacio en el cual se encuentra y la tercera es que el motor del compresor es capaz de variar su velocidad lo que facilita el incremento o la disminución de la capacidad que necesita.⁵⁶

Dentro de las ventajas de la implementación de este tipo de sistemas se encuentra el ahorro energético, estos sistemas son capaces de ahorrar entre el 11% y el 20% de energía, como se mencionó anteriormente otra ventaja es que el motor del compresor es capaz de variar su velocidad con el fin de poder trabajar dependiendo de la demanda de aire, estos sistemas son de fácil instalación y cuentan con un diseño modular, su mantenimiento es económico y permiten el control de cada área de manera independiente.⁵⁷

⁵⁶CLIMA PROYECTOS. Sistemas VRF. {En línea}. {16 de Abril de 2019}. Disponible en: (<https://sistemasvrf.com/>)

⁵⁷ AIRZONE. ¿Qué son los sistemas VRF de climatización?. {En línea}. {16 de Abril de 2019}. Disponible en: (<http://www.airzone.es/blog/climatizacion/que-son-los-sistemas-vrv-de-climatizacion/>)

➤ **Sistema mini Split:** Los mini Split son equipos pequeños que se usan principalmente en el acondicionamiento de cuartos y casas, estos equipos cada vez son más usados debido a que no necesitan instalación de ductería para transportar el aire.⁵⁸

Estos sistemas están compuestos por dos unidades, la unidad evaporadora es la que se encuentra al interior de las habitaciones o espacios en los cuales se va a realizar el acondicionamiento del aire, por lo general se encuentra en la parte más alta de la habitación; La segunda unidad es el condensador que se encuentra ubicado en la parte exterior debido a que es el encargado de enviar el aire caliente hacia el exterior, por esta razón no puede estar instalado en espacios cerrados.⁵⁹

Este tipo de equipos tienen como ventaja la alta eficiencia de su funcionamiento, el enfriamiento, utilizan poco espacio, son de fácil instalación, la flexibilidad que brindan al poderse usar en zonas diferentes y al no requerir ductos reducen el consumo energético debido a que no se presentan pérdidas en el sistema y de esta forma la central no tiene que forzarse de más. Como desventaja presenta su costo ya que es mucho más elevado que el de una central de aire del mismo tamaño.⁶⁰

1.4 EFICIENCIA ENERGÉTICA

Como su nombre lo indica es el uso eficiente de la energía, el cual se logra en el momento en que se necesita la menor cantidad de energía para realizar un proceso y además la energía usada es mayormente tomada de fuentes renovables.⁶¹

La eficiencia energética inició con el fin de disminuir los efectos del cambio climático ya que el mal uso de la energía es uno de los causales del mismo. Está enfocada en la reducción de intensidad energética y en la generación de hábitos de ahorro en el usuario enseñando a consumir la energía necesaria.

Además de esto la eficiencia energética es importante en el desarrollo económico de los países ya que esta genera competitividad entre los mismos y es una importante fuente de empleo.⁶²

⁵⁸ THORNE AMANN, Jennifer. WILSON, Alex. ACKERLY, Katie. Consumer guide to home energy savings. 10 Edición. Washington D.C: New society publishers, 2012. 113p. ISBN 978-1-55092-520-3

⁵⁹ CLIMA PROYECTOS. Aire acondicionado mini split. {En línea}. {16 de Abril de 2019}. Disponible en: (<https://aireacondicionadominisplit.com/>)

⁶⁰ THORNE AMANN, Jennifer. WILSON, Alex. ACKERLY, Katie. op. cit, p. 113

⁶¹ FACTOR ENERGÍA. “¿Qué es la eficiencia energética?”. {En línea}. {15 enero de 2019}. Disponible en: (<https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/que-es-la-eficiencia-energetica/>)

⁶² ENERGÍA Y SOCIEDAD. “Las claves del sector energético”. {En línea}. {15 enero de 2019}. Disponible en: (http://www.energiaysociedad.es/manenergia/1-1-que-es-la-eficiencia-energetica/#_ftn1)

La eficiencia energética hace parte del desarrollo sostenible, el cual se enfoca en mantener la calidad y la cantidad de prestaciones en un proceso utilizando la menor cantidad de recursos. Para lograr hacer una mejora en cuanto el consumo de energía y promover el uso de la misma de forma sostenible a nivel global se han abordado los siguientes temas:

- La mejora en la eficiencia energética en el uso de procesos de producción, edificios, vehículos y electrodomésticos.
- Potencialización de las energías renovables.
- Desarrollo de tecnologías que reduzcan el uso de combustibles fósiles con el fin de minimizar el impacto ambiental causado por las emisiones del efecto invernadero.
- Promover la ayuda a países en vía de desarrollo⁶³

1.5 CARGAS TÉRMICAS

“Se define carga térmica a todo fenómeno que tienda a modificar tanto la temperatura como la humedad absoluta en un local”⁶⁴. Las cargas térmicas determinan la capacidad de los equipos para mantener el interior de un edificio en óptimas condiciones aun cuando está con la capacidad máxima.

Para realizar el análisis de cargas térmicas en el interior de un edificio, resulta necesario evaluar la luz natural y la iluminación artificial del espacio, ya que el ambiente interior se ve afectado por las cargas térmicas que produce el uso de iluminación artificial, además de los aparatos electrónicos/ equipos y cantidad de personas que estén en el espacio a evaluar.⁶⁵

Para calcular las cargas térmicas se hace una clasificación según el tipo de transferencia de calor que influye en el espacio evaluado, tales como radiación, conducción y cargas internas que afecten directamente el espacio interior.

⁶³ REY MARTÍNEZ, Francisco Javier, VELASCO GÓMEZ, Eloy y REY HERNÁNDEZ, Javier M. Eficiencia energética de los edificios: Energía y desarrollo sostenible. Madrid: Paraninfo, 2018. p. 4

⁶⁴ LAPUERTA AMIGO, Magin y ARMAS, Octavio. Frío industrial y aire acondicionado. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha: Cuenca, 2012. p. 245

⁶⁵ FRANZETTI, Christelle. Influencia del acoplamiento entre la luz natural y la iluminación artificial en cargas térmicas en edificios de oficinas. En: Energy and Buildings. Vol. No. 36 (Feb. 2004); p. 117

1.5.1 Transferencia de Calor por conducción. La transferencia de calor mediante conducción se produce entre dos medios que están en contacto a diferente temperatura, intercambiando energía en forma de calor, la rapidez de este proceso depende de la configuración geométrica del cuerpo, interviniendo variables como espesor, material y gradiente de temperatura.⁶⁶

El modelo matemático para realizar el análisis de transferencia de calor por conducción está basado en la Ley de Fourier:

Ecuación 1. Transferencia de calor por conducción

$$Q = \frac{(K * A * \Delta T)}{\Delta x}$$

Fuente: CENGEL, Yunus A. y GHAJAR, Afshin J. Transferencia de calor y masa: Introducción y conceptos básicos. Cuarta Edición. McGraw Hill, 2011. P. 17

Donde

K= Coeficiente de Conducción térmica

A= Área de contacto

$\Delta T = T_1 - T_2$

Δx = Espesor de la pared

1.5.2 Transferencia de calor por convección. La transferencia de calor por convección se produce entre un cuerpo sólido y un medio líquido o gaseoso, en el cual la energía en forma de calor se transfiere de las partículas más energizadas a las menos energizadas y la razón de la transferencia de calor es directamente proporcional a la velocidad del movimiento de las partículas en estado sólido o líquido, esta velocidad será mayor si el fluido es forzado a fluir mediante un mecanismo externo llamado Convección forzada, de lo contrario esta mediante convección natural o libre, lo cual es representado mediante el coeficiente de Transferencia de calor h .

La transferencia de calor por convección se expresa mediante la Ley del Enfriamiento de Newton, ya que la rapidez de la transferencia de calor es proporcional a la diferencia de temperatura, y se expresa mediante la siguiente ecuación:⁶⁷

⁶⁶ CENGEL, Yunus A. y GHAJAR, Afshin J. Transferencia de calor y masa: Introducción y conceptos básicos. Cuarta Edición. McGraw Hill, 2011. P. 17

⁶⁷ Ibid, p. 25

Ecuación 2. Transferencia de calor por convección

$$Q = h \cdot A \cdot \Delta T$$

Fuente: CENGEL, Yunus A. y GHAJAR, Afshin J. Transferencia de calor y masa: Introducción y conceptos básicos. Cuarta Edición. McGraw Hill, 2011. P. 25

Donde

h= Coeficiente de transferencia de calor por convección (W/m²°C, BTU/h Ft² °F)

A= Área de contacto

ΔT= T1 - T2

1.5.3 Transferencia de calor por radiación. La transferencia de calor por radiación “es la denominación que recibe la transmisión de energía a través del espacio mediante ondas electromagnéticas.”⁶⁸

En la transferencia de calor por radiación a diferencia de la conducción y la convección no es necesario tener un medio interventor por el que se propague el calor, es decir que el calor se propaga por el vacío, convirtiéndose en el medio de transferencia más rápido al viajar a la velocidad de la luz.

La radiación térmica es producida debido a la temperatura de un cuerpo, es por esto que se diferencia de otras ondas como rayos X, ondas de microondas, ondas de TV, entre otras, ya que estas no están relacionadas con la temperatura. Todo cuerpo con una temperatura mayor al cero absoluto se encuentra emitiendo radiación térmica.⁶⁹

1.6 PSICROMETRÍA

Según el ASHRAE “la psicrometría es la rama de la física relacionada con la medición y determinación de las condiciones atmosféricas, particularmente la humedad en el aire”⁷⁰. Aunque primero se consideraba que la psicrometría se centraba en la medición de temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo, actualmente esa definición se ha ampliado y se establece que es la medición de

⁶⁸ MCCABE, Warren L. y SMITH, Julian C. Operaciones básicas de ingeniería química: Transmisión de calor y sus aplicaciones. Barcelona, Bogotá, Buenos Aires, Caracas, México: Reverté, 1973. p. 290

⁶⁹ CENGEL. Op. Cit., p. 27

⁷⁰ GATLEY, Donaldp. Understanding psychrometrics: etymology. Third edition. Atlanta: ASHRAE, 2013. p. 9. ISBN 978-1936504-31-2

todas las propiedades del aire húmedo⁷¹. La medición de la psicrometría se hace por medio del psicrómetro.

1.6.1 Propiedades del aire. Para hacer el estudio psicrométrico se tiene en cuenta las propiedades del aire expuestas a continuación y evaluadas sobre la carta psicrométrica.

1.6.1.1 Temperatura de bulbo seco. Las palabras temperatura y temperatura de bulbo seco hacen referencia a la temperatura que se mide en un termómetro ordinario, puede expresarse en grados Celsius (°C) o kelvin (K) en el sistema internacional o en grados Fahrenheit (°F) en el sistema inglés.

En el libro “Understanding Psychrometrics” se hace referencia a que esta temperatura no está sujeta a la evaporación, condensación, radiación o cuando la velocidad de aire tiene impacto con el sensor de medición, además es usada como; Uno de los tres parámetros requeridos para entrar a la carta psicrométrica, en el cálculo del flujo de calor a través de elementos de construcción conociendo la diferencia de temperaturas entre el aire exterior e interior⁷².

Para medir la temperatura de bulbo seco se pueden utilizar elementos como termocuplas, termómetros bimetales y termómetros de mercurio.

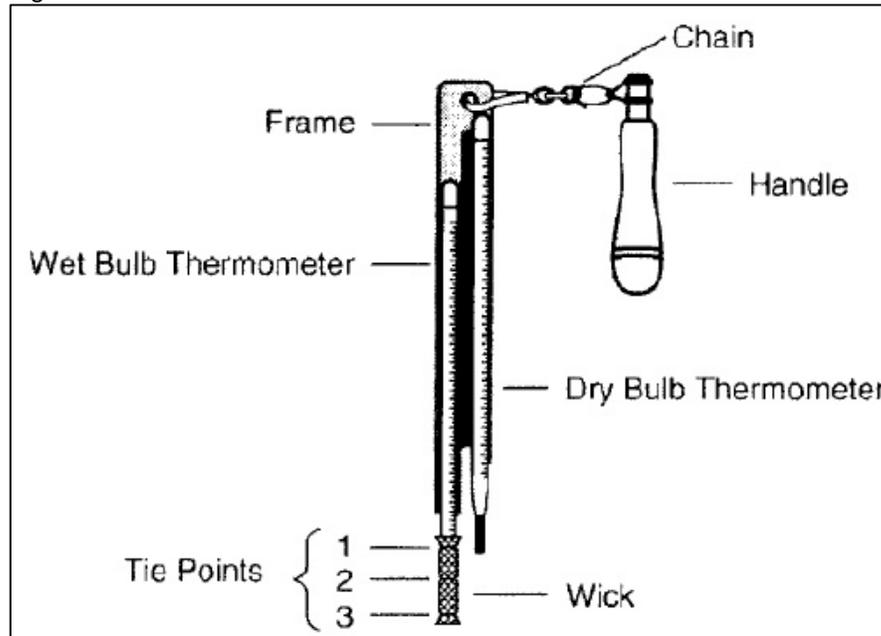
1.6.1.2 Temperatura de bulbo húmedo. Es la temperatura registrada mediante un termómetro cuyo bulbo está cubierto por un algodón húmedo expuesto a corrientes de aire. Es la menor temperatura que un cuerpo húmedo expuesto a una corriente de aire puede alcanzar, esta temperatura siempre es menor que la temperatura de bulbo seco debido a que refleja el efecto de enfriamiento de la evaporación de agua⁷³. Se expresa en las mismas unidades de medición que la temperatura de bulbo seco.

⁷¹ Ibid, p. 10

⁷² Ibid, p. 109

⁷³ REX, Miller y MILLER, Mark R: HVAC Licensing study guide. Third edition. McGraw hill Professional, 2018. ISBN 9781260116007

Figura 6. Termómetro de bulbo húmedo.



Fuente: GATLEY, Donaldp. Understanding psychrometrics: etymology. Third edition. Atlanta: ASHRAE, 2013. p. 9. ISBN 978-1936504-31-2.

1.6.1.3 Temperatura del punto de rocío. Es la temperatura a la cual el aire se condensa con una presión constante, en este punto la temperatura de bulbo seco y la temperatura de bulbo húmedo son las mismas, esta temperatura se alcanza cuando el aire contiene la mayor cantidad de humedad posible.

El punto de rocío es importante en el diseño de sistemas humidificadores para el confort humano, ya que, si la humedad en un lugar cerrado es alta, el aire empezará a condensarse.⁷⁴

1.6.1.4 Humedad relativa. Es la relación entre la presión parcial del vapor de agua y la presión de vapor saturado a una temperatura dada, es expresada en porcentaje y se obtiene bajo la siguiente ecuación:

Ecuación 3. Humedad relativa

$$\text{Humedad Relativa} = \frac{\text{Presión parcial de } H_2O}{\text{Presión de vapor saturado de } H_2O} * 100\%$$

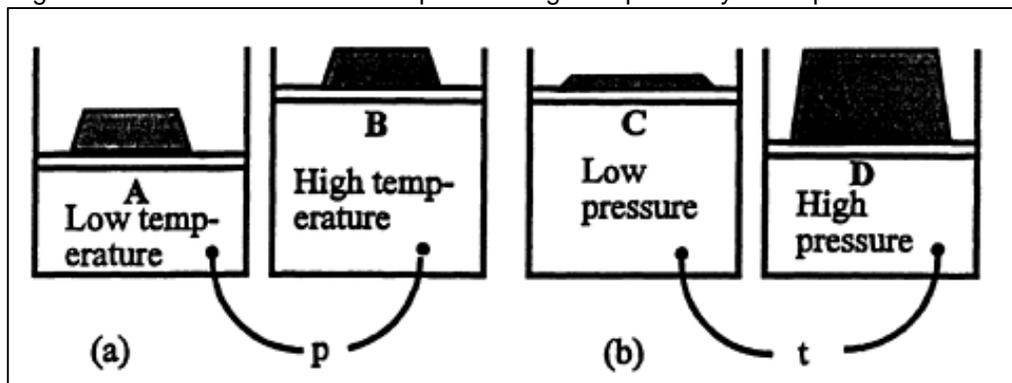
Fuente: GIANCOLI, Douglas C., Física principios con aplicaciones: presión de vapor y humedad. Sexta edición. México: Pearson Education, 2006. p. 375. ISBN 970-26-0695-0

⁷⁴ STOECKER, Wilbert F. Industrial refrigeration handbook. McGraw Hill, 1998. ISBN 9780070616233

Esto quiere decir, que entre más vapor de agua contenga el aire, mayor será la humedad relativa.⁷⁵

1.6.1.5 Volumen específico. Es el volumen ocupado por unidad de masa de una sustancia, se expresa en m³/kg en el Sistema Internacional o en ft³/lb en el Sistema Ingles. El Volumen específico puede verse afectado por la temperatura y por la presión esto quiere decir que, a menor temperatura, menor volumen específico y viceversa, siempre y cuando esté a presión constante, por el contrario, a una baja presión, mayor volumen específico (Imagen a) y a menor presión, menor volumen específico (Imagen b), siempre y cuando se mantenga una temperatura constante.⁷⁶.

Figura 7. Variación del volumen específico según la presión y la temperatura.



Fuente: STOECKER, Wilbert F. Industrial refrigeration handbook. McGraw Hill, 1998. ISBN 9780070616233. En: Access Engineering

1.6.1.6 Entalpía específica. En el libro Understanding Psychrometrics se define como “la suma matemática de componentes energéticos asociados con una sustancia. Estas energías son la energía interna molecular específica (u) y la energía de flujo de trabajo específico ($p \cdot v$).” Para calcularla se usa la siguiente ecuación:

Ecuación 4. Entalpía específica

$$h = u + p * v$$

Fuente: R NAVE, M Olmo. Energía Interna. {En línea}. {15 febrero de 2019}. Disponible en: (<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/thermo/inteng.html>)

⁷⁵ GIANCOLI, Douglas C., Física principios con aplicaciones: presión de vapor y humedad. Sexta edición. México: Pearson Education, 2006. p. 375. ISBN 970-26-0695-0

⁷⁶ STOECKER, op. cit,

La energía interna molecular es el movimiento aleatorio y desordenado de las moléculas⁷⁷ y la energía de flujo de trabajo es “el cociente entre el diferencial de trabajo realizado sobre el sistema y el tiempo gastado en realizarlo.”⁷⁸

La entalpia específica se expresa como el calor por unidad de peso, en sistema internacional en kJ/kg y en sistema ingles en Btu/lb.

⁷⁷ R NAVE, M Olmo. Energía Interna. {En línea}. {15 febrero de 2019}. Disponible en: (<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/thermo/inteng.html>)

⁷⁸ UNIVERSIDAD DE SEVILLA: departamento de física aplicada III. Trabajo en termodinámica (GIE). {En línea}. {15 febrero de 2019}. Disponible en: ([http://laplace.us.es/wiki/index.php/Trabajo_en_termodin%C3%A1mica_\(GIE\)](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Trabajo_en_termodin%C3%A1mica_(GIE))).

2. CONTEXTO

En este capítulo se realizará la identificación de aspectos que pueden afectar la Calidad de Aire Interior (CAI), evaluando cada uno de los espacios que componen la edificación de estudio y los riesgos que pueden causar. Siguiendo la Norma Iberoamericana de Calidad de Aire Interior, se determina que en esta etapa no se realizarán mediciones para establecer los parámetros que pueden estar afectando la CAI, pero sí se realizará inspección visual de los espacios y los diferentes elementos que estén en las áreas para decidir cuales espacios son más significativos en cuestión de riesgos emitidos. Cabe aclarar que esta inspección se realizó en el mes de enero del 2019.

Figura 8. Edificio ACAIRE.



Fuente: elaboración propia

2.1 INVENTARIO DE ASPECTOS QUE INTERACCIONAN CON LA CAI

2.1.1 Ubicación Del Edificio. El presente proyecto se desarrolló en las instalaciones de la Asociación Colombiana de Acondicionamiento de Aire y la Refrigeración – ACAIRE, ubicado en el barrio Quinta Camacho, el cual está localizado entre las calles 67 y 72 y desde la carrera séptima hasta la Avenida Caracas en el Noreste de Bogotá D.C.; es un barrio considerado patrimonio histórico y cultural, desde el año 2000 por haber hecho parte de los barrios más importantes del siglo XX, al haber sido habitado por las familias más prestigiosas de Bogotá y por sus construcciones inspiradas en la arquitectura Inglesa, con fachadas en ladrillo y techos inclinados.

2.1.2 Usos, Actividades y Distribución del Edificio. Inicialmente el lugar donde actualmente opera ACAIRE, fue construido como una casa familiar de dos plantas y un ático, posteriormente fue adecuado para ser la sede administrativa de ACAIRE en Bogotá, adecuando las habitaciones para ser usadas como oficinas, salón de conferencias y un laboratorio de trabajo. En esta edificación se realizan constantemente capacitaciones académicas con grupos de 15 personas aproximadamente que hacen uso del salón de conferencias y el laboratorio realizando prácticas técnicas de refrigeración.

La edificación cuenta con dos plantas, en el primer nivel se encuentra ubicada la recepción, el laboratorio, los baños, la oficina de dirección técnica, el archivo y la cocina, y en el segundo nivel está la oficina de dirección ejecutiva, el salón de conferencias, los baños, las oficinas de gestión administrativa, coordinación y contabilidad.

Figura 10. Uso de oficinas ACAIRE.



Fuente: elaboración propia

En la inspección se evidencia que hay inconformismo en las personas que hacen uso de la edificación ya que se siente baja temperatura en la mayor parte del día y síntomas de alergias producidos por el ambiente interior.

2.1.3 Materiales de construcción. La edificación está construida con muros en adobe (barro con arena), escaleras, techos, puertas y marcos de ventana en madera, tejado de barro y fachada de ladrillo.

2.1.3.1 Antigüedad y estado de conservación del material. Según las escrituras, el edificio fue construido en el año 1964, por lo cual tiene 55 años de antigüedad hasta el presente año.

En la edificación se evidencia deterioro en las paredes y construcción en general, producto de la falta de mantenimiento, lo que provoca fuentes contaminantes que afectan el ambiente interior tales como la humedad y hongos con exposición directa en zonas ocupadas del edificio.

Figura 11. Deterioro material de construcción.



Fuente: elaboración propia

2.1.4 Instalaciones del edificio. Son los sistemas diseñados para adecuar el interior de la edificación según las necesidades para lo cual va a ser usado. Es importante evaluar estos elementos para determinar si afectan la calidad del aire, a continuación, se describirán las condiciones actuales en este aspecto en la edificación.

2.1.4.1 Instalaciones de acondicionamiento de aire. La edificación no cuenta con sistemas de acondicionamiento de aire, por tal razón la renovación de aire interior se hace de forma natural por medio de las ventanas, tampoco se cuenta con control de contaminantes ambientales ni de regulación de humedad.

2.1.4.2 Instalaciones de agua. Los suministros de agua potable y de agua sanitaria provienen directamente del acueducto por lo tanto no contiene contaminantes considerables para ser un factor de riesgo.

2.1.4.3 Instalación de salubridad. Las instalaciones de ACAIRE no tienen fuentes considerables de olores y/o contaminantes, ya que las actividades que se realizan en este lugar son netamente administrativas y académicas, sin embargo, se cuenta con un laboratorio que eventualmente genera gases producto de los procesos de soldadura y no hay un sistema de evacuación de humos y gases. El garaje y la cocina no requieren de estos sistemas debido a que el garaje es exterior y la cocina es de uso doméstico.

La depuración de basuras y aguas residuales, se hace por medio del sistema de alcantarillado local, no es necesario un sistema adicional teniendo en cuenta que la actividad realizada en ACAIRE no lo requiere.

2.1.4.4 Depósitos de combustibles. En el laboratorio de ACAIRE se encuentran almacenados diferentes tipos de refrigerantes que contienen compuestos orgánicos que eventualmente producen concentración de gases, afectando la CAI.

2.1.4.5 Instalación de transporte vertical y comunicación entre plantas. La edificación cuenta con dos plantas que se comunican entre sí por unas escaleras, las cuales se encuentran construidas en madera y recubiertas por alfombra, lo que puede generar acumulación de ácaros y microorganismos que afecten la CAI.

2.1.4.6 Zonas de aparcamiento. Existe una zona de aparcamiento en el exterior de la edificación la cual es descubierta, se accede a ella por la puerta principal y tiene capacidad para dos automóviles.

2.1.4.7 Almacenes y salas de usos especiales. ACAIRE cuenta con un laboratorio en el cual se almacenan pipetas con diferentes tipos de refrigerantes, un equipo de oxicorte con tanques que contienen acetileno y oxígeno. Por otro lado, se cuenta con una habitación destinada para archivo y biblioteca en la cual se almacenan diferentes tipos de libros y documentos de la empresa, se considera que estos espacios requieren valoración para mejorar las condiciones de funcionamiento.

2.1.5 Mantenimiento del edificio. El mantenimiento higiénico que se realiza en la edificación es con detergentes e implementos de aseo de uso doméstico, sin embargo, cada quince días el personal encargado de servicios generales, aplica insecticida en el piso de la cocina, ya que es el lugar donde se encuentran productos biológicos y por lo tanto es propenso a atraer plagas.

2.1.6 Remodelación del edificio. En el periodo en el que se realizó este estudio comprendido entre Diciembre de 2018 y Junio de 2019, no se presentaron remodelaciones al interior del edificio que pudieran afectar la CAI.

3. EVALUACION SEGÚN NORMA FAIAR

3.1 MATRIZ DE RIESGOS: PROBABILIDAD/EFFECTOS

La matriz de riesgos se implementa con el fin de evaluar el riesgo potencial de la calidad del aire interior basada en la inspección realizada al edificio en el capítulo anterior. La matriz es el parámetro de entrada para determinar si es necesario iniciar un control y mejoramiento de la calidad de aire en el edificio, esto se hace estableciendo cuál es la probabilidad y cuál es el efecto que tienen los factores evaluados anteriormente.

La probabilidad se establece basándose en datos históricos, datos de las instalaciones y conociendo las actividades que se llevan a cabo en cada lugar de la edificación, también deben tenerse en cuenta datos de fiabilidad de los sistemas y datos de calidad en el control y mantenimiento del edificio. Se puede tener en cuenta la experiencia de la persona que hizo la inspección para complementar lo dicho anteriormente.

Los efectos se pueden clasificar en tres:

- **Efecto ligero:** Implica alteraciones que a criterio del inspector no suponen daños graves que afecten la calidad de aire en el interior de la edificación y por lo tanto no afectarán la salud de ni el confort de los usuarios del edificio. Este requiere acciones correctoras a largo o mediano plazo.
- **Efecto considerable:** Implica una mala calidad de aire interior de la edificación que puede repercutir en la sensación de confort de los usuarios. Este requiere acciones correctoras a corto plazo.
- **Efecto grave:** Implica una mala calidad de aire interior y alta probabilidad de afectación en la salud de los usuarios. Este requiere acciones correctoras inmediatas.

3.1.1 Análisis de la matriz de riesgo

Cuadro 1. Matriz de riesgo: Probabilidad/Efectos

PROBABILIDAD \ EFECTOS	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
LIGEROS	NO SIGNIFICATIVO	RE-EVALUAR PERIODICAMENTE	RE-EVALUAR PERIODICAMENTE	VALORAR
CONSIDERABLES	RE-EVALUAR PERIODICAMENTE	RE-EVALUAR PERIODICAMENTE	VALORAR	VALORAR
GRAVES	VALORAR	VALORAR	VALORAR	VALORAR

Fuente: FEDERACIÓN DE ASOCIACIONES IBEROAMERICANAS DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN. Grupo 5. Norma FAIAR de control de calidad de aire en interiores en edificios. p.15. Iberoamérica. FAIAR, 2018

De acuerdo a la inspección realizada previamente se establece que las condiciones de ACAIRE deben ser valoradas, dado que la ubicación del edificio puede generar efectos considerables en la Calidad de Aire Interior, teniendo en cuenta que el edificio se encuentra ubicado en una zona rodeada de vías principales de alto tráfico vehicular y de transporte público, debido a la cantidad de personas en movimiento en la zona y que al estar ubicada en una zona central de la ciudad las personas deben pasar por ahí para llegar a sus destinos.

Además de esto que al ser considerado patrimonio histórico y cultural no se permite realizar cambios a la fachada y estructura del edificio, como consecuencia de esto no se pudieron hacer mayores modificaciones para adaptarlo como edificio administrativo, lo que afecta directamente espacios que requieren un acondicionamiento especial, como es el laboratorio ubicado en la primer planta, en el cual se almacenan equipos y repuestos de refrigeración, refrigerantes y herramientas, incluso se realizan las capacitaciones técnicas haciendo uso de equipos de soldadura, que pueden provocar acumulación de gases debido a la carencia de un sistema de extracción que mantenga las condiciones óptimas en la calidad de aire de este espacio., actualmente la extracción del aire contaminado se hace por ventilación natural.

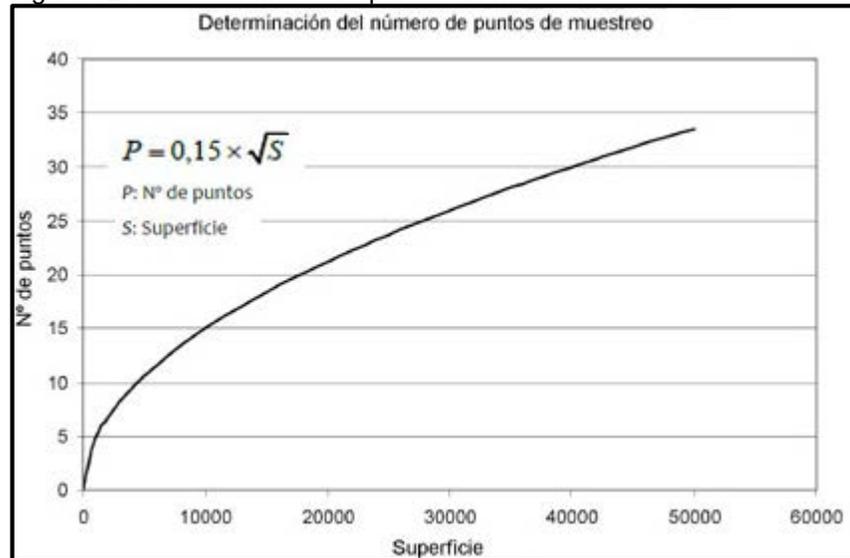
Otro espacio mal adecuado es el archivo, dado que allí reposa material orgánico que requiere condiciones diferentes para su preservación, un almacenamiento incorrecto produce microorganismos que afectan tanto el material orgánico como el aire interior y actualmente se evidencia olor a humedad y poca ventilación en este lugar.

Por otro lado, por los materiales de construcción, el estado de los mismos y la antigüedad del edificio se perciben bajas temperaturas y sensación de alergias en las personas ocupantes del mismo, esto se debe a que al estar construido de materiales como arena y barro hay desprendimiento de material causando posibles fuentes de contaminación para la concentración de bacterias.

En la inspección realizada se evidencia que la comunicación entre plantas se hace por medio de las escaleras las cuales son cubiertas por un tapete, que puede generar concentración de ácaros y generar contaminación. Por último, no se cuenta con un sistema de aire acondicionado que garantice las condiciones mínimas para el confort humano.

Según la evaluación anterior y la inspección previa se establecen los espacios en los cuales se evaluarán los parámetros requeridos por la norma FAIAR de Control de Calidad de Aire en Interiores en edificios, el método propuesto se muestra en la figura 12:

Figura 12. Número mínimo de puntos de muestreo



Fuente: FEDERACIÓN DE ASOCIACIONES IBEROAMÉRICANAS DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN. Grupo 5. Norma FAIAR de control de calidad de aire en interiores en edificios. p.21. Iberoamérica. FAIAR, 2018.

El edificio de ACAIRE cuenta con un área construida de aproximadamente 260 m² teniendo en cuenta las dos plantas.

Ecuación 5. Puntos de muestreo

$$P = 0.15\sqrt{260}$$

$$P = 2.41 \approx 3$$

Fuente: Elaboración propia con base en la Norma FAIAR

Aplicando la ecuación 5 se establece que la medición se debe realizar como mínimo en 3 puntos, pero con la ayuda de un experto en CAI se llegó a la conclusión de que existen 7 puntos críticos que debían ser estudiados dado que son los espacios donde hay ocupantes constantemente, estos espacios son: Recepción, laboratorio, archivo, cocina, dirección ejecutiva, salón de conferencias, gestión administrativa y coordinación/contabilidad.

3.2 PARAMETROS A ANALIZAR

Después de realizar la evaluación de la matriz de riesgos expuesta en el punto anterior es necesario realizar mediciones directas para determinar si realmente existen condiciones negativas y contaminantes que afecten la CAI en el edificio.

Según la normativa en la cual se basó el proyecto los parámetros obligatorios a medir son:

- Evaluación higiénica de los sistemas de climatización
- Temperatura y humedad relativa
- Dióxido de carbono
- Monóxido de carbono
- Partículas en suspensión por gravimetría (PM 2.5)
- Conteo de partículas en suspensión (PM 0.5 y PM 5)
- Bacterias en suspensión
- Hongos en suspensión

Y los parámetros complementarios se establecen según los aspectos ambientales en interiores que se necesiten en cada caso de estudio, siendo los siguientes:

- Partículas en suspensión por gravimetría (PM 10)
- Formaldehído (HCHO)
- Ozono
- Compuestos orgánicos volátiles (COV'S)
- Análisis de confort térmico según la Norma UNE-EN ISO 7730
- Fibras en suspensión
- Olores
- Óxido de nitrógeno
- Óxido de azufre
- Gas radón

Estos parámetros complementarios se determinan con base en el cuadro 2 en el cual se relaciona los parámetros a medir con los aspectos ambientales en interiores, además se establece que los parámetros con relación media o alta con los aspectos ambientales, se deben medir obligatoriamente.

Cuadro 2. Relación de aspectos ambientales y parámetros a estudiar

RELACION PARAMETROS/ASPECTOS AMBIENTALES EN INTERIORES											
PARAMETROS	Ubicación del edificio	Usos y actividades	Materiales de construcción	Instalaciones de aire.	Instalaciones de agua	Instalaciones de salubridad	Depósitos de combustibles	Instalaciones de transporte	Zonas de aparcamiento	Almacenes y usos especiales	Mantenimiento del edificio
Dióxido de carbono											
Confort térmico (Tª y HR)											
Monóxido de carbono											
Partículas en suspensión											
Hongos y bacterias											
Inspección AAC											
Ozono											
Dióxido de azufre											
Dióxidos de nitrógeno											
COV											
HCHO											
Gas radón											
Olores											
Fibras en suspensión											
Alergenos											
NULA BAJA MEDIA ALTA NIVEL DE RELACION											

Fuente: FEDERACIÓN DE ASOCIACIONES IBEROAMERICANAS DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN. Grupo 5. Norma FAIAR de control de calidad de aire en interiores en edificios. p.20. Iberoamérica. FAIAR, 2018.

Por lo anterior y siguiendo la inspección visual hecha y evaluada en la matriz de riesgos presentada en la sección 3.1, se definieron como aspectos críticos que afectan la CAI la ubicación, el uso y actividad y el mantenimiento de la edificación.

Los parámetros de bacterias y hongos en suspensión, se evaluaron previamente con el laboratorio BIOTRENDS, en los cuales se evidencia que la concentración de estos contaminantes no es significativa, ya que la edificación de ACAIRE no tiene mucho material orgánico que permita el crecimiento de estos microorganismos. Por lo anterior, estos resultados no se compararán con la Norma FAIAR.

Tabla 1. Análisis microbiológico.

	Resultados Muestras 17 Enero								
	8:00 A.M.			12:00 P.M.			4:00 P.M.		
	Aerobios Mesófilos	Mohos	Levaduras	Aerobios Mesófilos	Mohos	Levaduras	Aerobios Mesófilos	Mohos	Levaduras
Auditorio	2	3	0	0	2	0	4	0	1
D. Ejecutiva / Archivo	1	5	0	0	0	0	1	1	0
Oficinas	0	6	0	0	1	0	4	2	3
Contabilidad	0	3	0	2	1	0	1	0	0
Laboratorio	1	4	0	2	1	0	0	3	0
Recepción	0	3	3	0	0	0	8	4	0
Cocina	0	9	0	0	1	0	1	0	0
Unidades: UFC/ 15min									

Fuente: elaboración propia

Como parámetros complementarios se realizará la medición de: Compuestos orgánicos volátiles (COV), sugerido por la Norma FAIAR para zonas donde hay alto tráfico vehicular como la Av. Caracas por donde pasa el sistema de transporte masivo de Bogotá, Transmilenio. Adicionalmente, la medición del dióxido de azufre y el óxido de nitrógeno, es recomendada para áreas donde la contaminación ambiental exterior sea alta, y teniendo en cuenta que durante el tiempo en el cual se desarrolló el proyecto, Bogotá estuvo en alerta ambiental, se considera necesario

realizar la medición. La medición de olores se hizo mediante la opinión de los usuarios y visitantes de ACAIRE en las encuestas, la cual arrojó resultados positivos.

Por otro lado, no se considera necesario realizar la medición de partículas en suspensión PM10, porque estas se encuentran generalmente en ambientes donde la actividad realizada genera material particulado, ACAIRE tiene actividad administrativa por lo tanto las partículas emitidas serán de material ofimático y generalmente estas partículas tienen un tamaño menor a PM10.

El formaldehído, el ozono, las fibras en suspensión, y el gas radón no serán medidos dado que las recomendaciones de la Norma FAIAR no aplican a las condiciones de funcionamiento y ubicación de la edificación de ACAIRE.

Luego de determinar los parámetros que se deben medir y conociendo los puntos críticos de la edificación se calculó el número mínimo de puntos de muestreo en los cuales se debe analizar las variables seleccionadas.

3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE PARÁMETROS

Para el análisis de las mediciones realizadas en los espacios de ACAIRE previamente definidos, es importante conocer los límites bajo los cuales se evalúa si un parámetro es conforme, o no conforme y cuando requiere atención inmediata. Los límites establecidos en la Norma FAIAR se encuentran definidos como límite de confort y límite máximo.

El límite de confort es aquel que asegura que el ambiente interior no resulta molesto para la mayoría de los ocupantes del edificio, en este caso se define como conforme cuando la variable alcance hasta un 25% de desviación, siempre y cuando se conozcan las causas y se planeen acciones correctoras particulares.

El límite máximo tiene como objetivo la protección de la salud de los usuarios del edificio ya que está definido en los valores oficiales de la Prevención de Riesgos Laborales. En caso de una variable superar este límite será evaluado como no conforme la totalidad del edificio sin importar si es la única variable fuera de rango ya que este límite NO deberá ser sobrepasado.

Las mediciones se realizaron en dos ocasiones diferentes que permitieron conocer las condiciones ambientales del edificio, la primera fue realizada en horas de la mañana en un día crítico, es decir, con alto flujo de personal debido a diferentes actividades programadas como talleres y conferencias; la segunda se realizó en horas de la tarde en condiciones normales de operación, es decir, con el personal administrativo de ACAIRE; esto permitió analizar los diferentes parámetros con el fin de establecer los más críticos.

De acuerdo a esto, en la tabla 2 y 3 se presentan los resultados obtenidos en las mediciones y se muestra el estado de cada resultado, siendo Conforme, No Conforme o en confort, con base en la Norma FAIAR.

Tabla 2. Medición de parámetros-mañana

Variable	Temperatura	Humedad Relativa	Dioxido de Carbono	Monóxido de Carbono	PM 2,5
Unidades	°C	HR%	ppm	ppm	µg/m3
Rangos	21-23	30-70	<600	<5	<20
Salon de conferencias	18.8	66.7	2083	1	114.74
Salon de conferencias	18.8	63.4	2021	0.8	167.27
Oficinas Gestion Calidad	19.8	57.5	1544	1	194.15
Coordinacion	18.9	58.9	860	0.9	75.98
Contabilidad	20.1	54.8	896	0.5	58.74
Direccion Ejecutiva	19.3	53.1	850	0	61.82
Laboratorio	18.9	56.5	964	0.1	64.36
Cocina	24.5	47.3	1120	0.3	73.49
Archivo	19.3	59.5	1012	0	48.71
Promedio interior	19.8	57.5	1261.1	0.5	95.5

No Conforme
 Límite Máximo
 En Confort

Fuente: elaboración propia.

En la segunda medición se tuvo en cuenta la comparación entre los datos medidos en el ambiente exterior y el ambiente interior, de forma que se pueda realizar un análisis más detallado, así mismo se adicionaron los parámetros requeridos que no se tomaron en cuenta en primera medición, tales como Partículas en Suspensión 0.5 y 5, Compuestos Orgánicos Volátiles, Óxido de Nitrógeno y Dióxido de Azufre.

Tabla 3. Medición de parámetros-tarde

Variables	Temp	Humedad Relativa	Dióxido Carbono	Monóxido Carbono	PARTICULAS EN SUSPENSIÓN					COV	Óxido nitrogeno NO	Dióxido azufre SO2
					PM 0,5	PM 0,5	PM 2,5	PM 5	PM 5			
					Interior µg/m3	Relación int/ext	Interior µg/m3	Interior µg/m3	Relación int/ext			
Unidades	°C	HR%	ppm	ppm	Interior µg/m3	Relación int/ext	Interior µg/m3	Interior µg/m3	Relación int/ext	µg/m3	mg/m3	mg/m3
Rangos	21-23	30-70	<600	<5	Interior µg/m3	<1,5	Interior µg/m3	Interior µg/m3	<1,3	<600	0,2	0,5
Salon de conferencias												
ventana abierta	21,3	58,5	605	0,6	5,77	0,54	29,4	39,8	0,86	0,8	0,2	0
Salon de conferencias												
ventana cerrada	21,3	59,0	765	0,8	6,17	0,58	25,2	35,6	0,77	0,81	0,2	0
Gestión Calidad	22,8	60,1	860	1,0	4,69	0,44	27,6	41,0	0,89	0,84	0,2	0
Coordinación	22,6	55,9	906	0,7	5,16	0,48	23,2	27,6	0,60	0,55	0,1	0
Contabilidad	22,5	58,4	824	0,9	5,14	0,48	26,6	38,3	0,83	0,81	0,2	0
Dirección Ejecutiva	21,8	63,0	706	0,9	5,40	0,51	24,8	35,7	0,78	0,54	0,2	0
Laboratorio	19,7	56,6	513	1,0	6,93	0,65	25,6	39,4	0,86	0,22	0,3	0
Laboratorio equipos	20,4	60,7	827	0,2	0,57	0,05	28,5	46,3	1,01	0,25	0,3	0
Cocina	22,0	60,6	809	0,7	7,38	0,69	28,5	46,3	1,01	0,26	0,2	0
Archivo	21,2	63,8	1319	0,6	7,94	0,74	28,8	29,0	0,63	0,25	0,2	0
Recepción	22,5	54,0	700	0,6	6,03	0,57	27,6	46,4	1,01	0,42	0,1	0
Promedio interior	21,6	59,1	803	0,7	5,56	0,52	26,9	38,7	0,84	0,5	0,2	0,0
Exterior	18,0	65,0	462	0,9	10,66	-	35,7	46,0	-	0,18	0,5	0,5

No conforme
 En Confort

Fuente: elaboración propia.

Con los datos obtenidos en las mediciones realizadas, se evidencia que los parámetros más críticos son el Dióxido de Carbono y las partículas en suspensión PM 2.5 ya que en los dos casos están fuera de rango en todos los espacios y por lo tanto requieren más atención que el resto de parámetros.

Con las mediciones también se pudo evidenciar que tener las ventanas abiertas afecta la calidad de aire interior, teniendo en cuenta la comparación de datos en el salón de conferencias.

3.4 ENCUESTA DE SATISFACCIÓN TÉRMICA

Con el fin de conocer las condiciones de confort iniciales del edificio se aplicó una encuesta (ver anexo A) a los trabajadores y asistentes a conferencias dentro del mismo, basándose en la NORMA ASHRAE ESTÁNDAR 55, en la cual están definidos los parámetros de confort y así conocer la opinión de las personas que hacen uso del edificio.

En esta norma se establece que el confort de un ambiente es aceptable al sentirse cómodos como mínimo el 80% o de los encuestados.

3.4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA ENCUESTA. La encuesta se realizó a 50 personas, distribuidos entre empleados y asistentes a conferencias en jornada mañana y en jornada tarde, especificando que los empleados permanecen jornadas de 10 horas en el edificio mientras que los asistentes a conferencias permanecen entre 2 y 5 horas en el lugar.

En la primera pregunta se indagó sobre la sensación térmica que tenían los ocupantes de ACAIRE con el fin de conocer su satisfacción, teniendo en cuenta la escala de sensación térmica del ASHRAE que califica las sensaciones caliente, tibio, fresco y frío como una opinión de descontento de las personas, las sensaciones escasamente tibio y escasamente fresco como aceptables y la sensación neutra como la ideal.

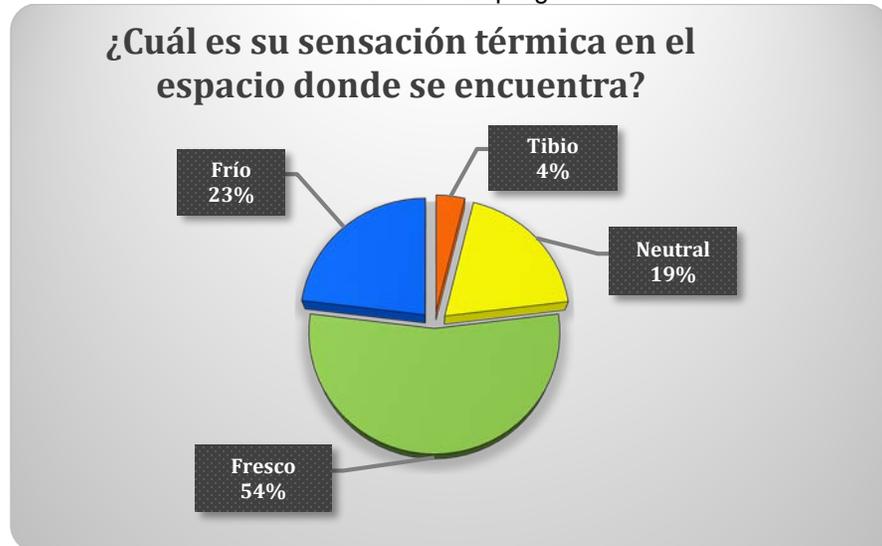
Las respuestas de los encuestados fueron las siguientes:

Gráfico 1. Encuesta satisfacción térmica pregunta 1 empleados



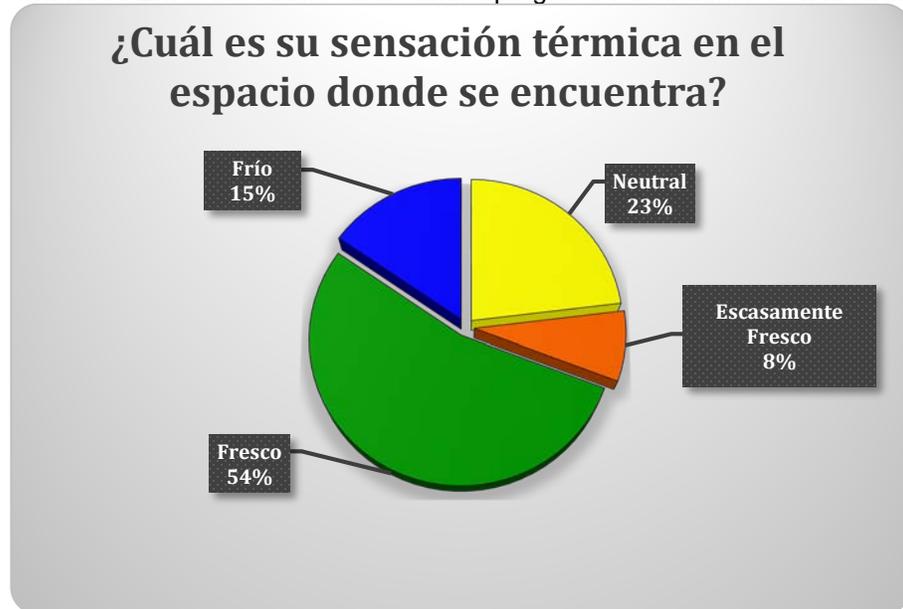
Fuente: elaboración propia

Gráfico 2. Encuesta satisfacción térmica pregunta 1 conferencias en la mañana



Fuente: elaboración propia

Gráfico 3. Encuesta satisfacción térmica pregunta 1 conferencias en la tarde



Fuente: elaboración propia

Como se evidencia anteriormente existe un alto porcentaje de sensación de frío en los empleados y un alto porcentaje de sensación de ambiente fresco por parte de los asistentes a conferencias.

De acuerdo a lo establecido por la norma y a las respuestas de los encuestados se obtuvo como resultado de esta pregunta que la sensación térmica no es aceptable.

Para el análisis del segundo punto de la encuesta en el cual se preguntó sobre el tipo de ropa que lleva puesta la persona, se hace un análisis basándose en la determinación del confort térmico de acuerdo a la norma ASHRAE 55 del 2010.

Cuando se definen condiciones de confort se tienen en cuenta 6 factores principales que afectan directamente la sensación térmica de una persona, tales criterios son: Porcentaje metabólico, aislamiento de ropa, temperatura de aire, temperatura radiante, velocidad de aire y humedad.

En la Norma ASHRAE 55 se muestran dos métodos mediante los cuales se puede conocer el confort térmico para interiores típicos, el primero de ellos es el Método Gráfico, que establece como parámetros para su uso un porcentaje metabólico de entre 1.0 y 1.3 met y donde el porcentaje de ropa usada sea de entre 0.5 y 1.0 clo y requiere que como mínimo el 80% de las personas encuestadas se sientan cómodas con el confort del lugar, el segundo es el Método de Modelo de Computador para Aplicación Interna General y tiene como parámetros de aplicación espacios donde los ocupantes tienen niveles de actividad con porcentajes

metabólicos entre 1.0 y 2.0 met y donde la ropa usada proporciona un aislamiento térmico de 1.5 clo o menos.

Los met son la unidad de medida para el porcentaje metabólico, que es “la energía generada dentro del cuerpo debido a actividad metabólica, la cual es igual a la energía producida por el área de superficie de unidad de una persona promedio sentada en descanso”⁷⁹. Este se determina mediante el uso de la tabla 4 propuesta por la norma:

Tabla 4. Porcentajes metabólicos para tareas típicas

Actividad	Porcentaje Metabólico		
	Unidades Met	W/m ²	(Btu/h·p ²)
Reposo			
Dormir	0.7	40	(13)
Reclinar	0.8	45	(15)
Sentado, quieto	1.0	60	(18)
Parado, tranquilo	1.2	70	(22)
Caminar (a nivel de superficie)			
0.9 m/s, 3.2 km/h, 2.0 mph	2.0	115	(37)
1.2 m/s, 4.3 km/h, 2.7 mph	2.6	150	(48)
1.8 m/s, 6.8 km/h, 4.2 mph	3.8	220	(70)
Actividades de Oficina			
Leer, sentado	1.0	55	(18)
Escribir	1.0	60	(18)
Tepear	1.1	65	(20)
Archivar, sentado	1.2	70	(22)
Archivar, parado	1.4	80	(26)
Caminar alrededor	1.7	100	(31)
Levantar/empacar	2.1	120	(39)

Fuente: AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. Condiciones de ambiente térmico para ocupación humana. p.20. Atlanta. ASHRAE, 2010.

Los clo son la unidad en la que se expresa el aislamiento térmico proporcionado por conjuntos de prendas de vestir e indumentarias⁸⁰. Para calcularlo se utilizan tablas en las cuales está establecido el valor de clo de acuerdo a diferentes conjuntos de vestimenta, de vestidos individuales y al aislamiento térmico adicional en el caso de que la persona se encuentre sentada, esta última es válida solo si los valores de aislamiento se encuentran entre 0.5 y 1.2 clo. Las tablas se presentan a continuación:

⁷⁹ NORMA ANSI/ASHRAE 55, op. cit, p. 4

⁸⁰ Ibíd., p. 4

Tabla 5. Valores de aislamiento de vestimenta para conjuntos típicos

Descripción de Ropa	Incluido Prendas de Vestir [†]	I_{cl} , (clo)
Pantalones	1) Pantalones, camisa manga corta	0.57
	2) Pantalones, camisa manga larga	0.61
	3) #2 más chaqueta	0.96
	4) #2 más chaqueta, chaleco, camiseta	1.14
	5) #2 más suéter manga larga, camiseta	1.01
	6) #5 más chaqueta, ropa interior larga	1.30
Faldas/Vestidos	7) Falda a la rodilla, camisa manga corta (sandalias)	0.54
	8) Falda a la rodilla, camisa manga larga, combinación	0.67
	9) Falda a la rodilla, camisa manga larga, enagua, suéter manga larga	1.10
	10) Falda a la rodilla, camisa manga larga, enagua, chaqueta	1.04
	11) Falda larga, camisa manga larga, chaqueta	1.10
Pantalones Cortos	12) Pantalones cortos de caminar, camisa manga corta	0.36
Overoles/Monos	13) Monos manga larga, camisetas	0.72
	14) Overoles, camisa manga larga, camisetas	0.89
	15) Monos aislados, ropa interior térmica manga larga, camisetas y pantalones	1.37
Deportivos	16) Pantalones sudadores, camisetas sudadoras manga larga	0.74
Pijamas	17) Camisetas de pijama manga larga, pantalones de pijama largos, bata ¾ de largo (zapatillas no medias)	0.96

*Los datos son del Capítulo 9 en el Manual—Fundamentales 2009 de ASHRAE.²

†Todos los conjuntos de vestimenta, excepto donde esté indicado lo contrario en paréntesis, incluye zapatos, medias y calzoncillos o bragas. Todos los conjuntos de vestimenta falda/ vestido incluye media pantalón y no medias adicionales.

Fuente: AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. Condiciones de ambiente térmico para ocupación humana. p.22. Atlanta. ASHRAE, 2010.

Tabla 6. Aislamiento de prendas de vestir

Descripción Prendas de Vestir [†]	I_{clu} , clo	Descripción Prendas de Vestir	I_{clu} , clo
Ropa Interior		Vestidos y Faldas**	
Sostén	0.01	Faldas (finas)	0.14
Bragas	0.03	Faldas (gruesas)	0.23
Calzoncillos de hombre	0.04	Sin magas, cuello cuchara (fino)	0.23
Camiseta	0.08	Sin mangas cuello cuchara (grueso)	0.27
Enagua	0.14	Manga corta vestido camisa (fino)	0.29
Ropa interior pantalón largo	0.15	Manga larga vestido camisa (fino)	0.33
Combinación	0.16	Manga larga vestido camisa (grueso)	0.47
Ropa interior camisa manga larga	0.20	Suéteres	
Calzado		Chaleco sin manga (fino)	0.13
Medias deportivas largo tobillo	0.02	Chalecos sin manga (grueso)	0.22
Media-pantalón/medias	0.02	Manga larga (fina)	0.25
Sandalias/de correa	0.02	Manga larga (gruesa)	0.36
Zapatos	0.02	Sacos y Chalecos††	
Zapatillas (acolchado)	0.03	Chalecos sin mangas (fino)	0.10
Medias al tobillo	0.03	Chalecos sin mangas (grueso)	0.17
Medias a la rodilla (gruesas)	0.06	Pecheras sencillas (finas)	0.36
Botas	0.10	Pecheras sencillas (gruesas)	0.44
Faldas y Blusas		Pecheras dobles (finas)	0.42
Sin mangas/blusa cuello cuchara	0.12	Pecheras dobles (gruesas)	0.48
Camisa deportiva manga corta	0.17	Ropa de Dormir y Batas	
Vestido falda manga corta	0.19	Bata corta sin mangas (fino)	0.18
Vestido falda manga larga	0.25	Bata larga sin mangas (fino)	0.20
Camisa franela manga larga	0.34	Bata de hospital manga corta	0.31
Jersey manga larga	0.34	Camisón corto manga corta (fino)	0.34
Pantalones y Monos		Pijama manga corta (fina)	0.42
Pantalones cortos	0.06	Bata larga manga larga (gruesa)	0.46
Pantalones cortos de caminar	0.08	Camisón corto manga larga (grueso)	0.48
Pantalones rectos (finos)	0.15	Pijama manga larga (gruesa)	0.57
Pantalones rectos (gruesos)	0.24	Camisón largo manga larga (gruesa)	0.69
Calentadores	0.28		
Overoles	0.30		
Monos	0.49		

*Los datos son del Capítulo 9 del *Manual – Fundamentales 2009 de ASHRAE*.³
[†]"Fino" se refiere a vestimenta hechas de telas de peso ligero, a menudo usados en el verano, "grueso" se refiere a vestimentas hecha de telas gruesas, pesadas, a menudo usadas en el invierno.
^{**}Vestidos y faldas a la altura de la rodilla.
^{††}Chalecos forrados.

Fuente: AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. Condiciones de ambiente térmico para ocupación humana. p.23. Atlanta. ASHRAE, 2010.

Tabla 7. Aislamiento típico adicional cuando se sientan en una silla

Silla neta*	0.00 clo
Silla de metal	0.00 clo
Sillón de madera [†]	0.00 clo
Taburete de madera	+0.01 clo
Silla de oficina standard	+0.10 clo
Silla ejecutiva	+0.15 clo

*Una silla construida de cuerdas ampliamente espaciadas, finas, que proporcionan aislamiento térmico. Incluido para propósitos de comparación solamente.
[†]Silla usada en la mayoría de los estudios básicos de confort térmico que fueron usados para establecer el índice PMV-PPD.

Fuente: AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. Condiciones de ambiente térmico para ocupación humana. p.23. Atlanta. ASHRAE, 2010.

Con base en lo anterior se hace el análisis de porcentaje metabólico y de aislamiento térmico para los empleados y los asistentes a conferencias en ACAIRE y así determinar el método a utilizar para evaluar el confort térmico.

La actividad más común realizada por los empleados es tipear, que hace referencia a labores administrativas a computador, es decir enviar y responder email, preparar conferencias y capacitaciones, agendar citas, entre otros, el valor en met de esta actividad según la tabla 4 es de 1.1.

Las actividades realizadas por los asistentes generalmente son sentado/quieto o escribiendo durante las conferencias, el porcentaje metabólico para estas actividades corresponde a 1.0 met según la tabla 4.

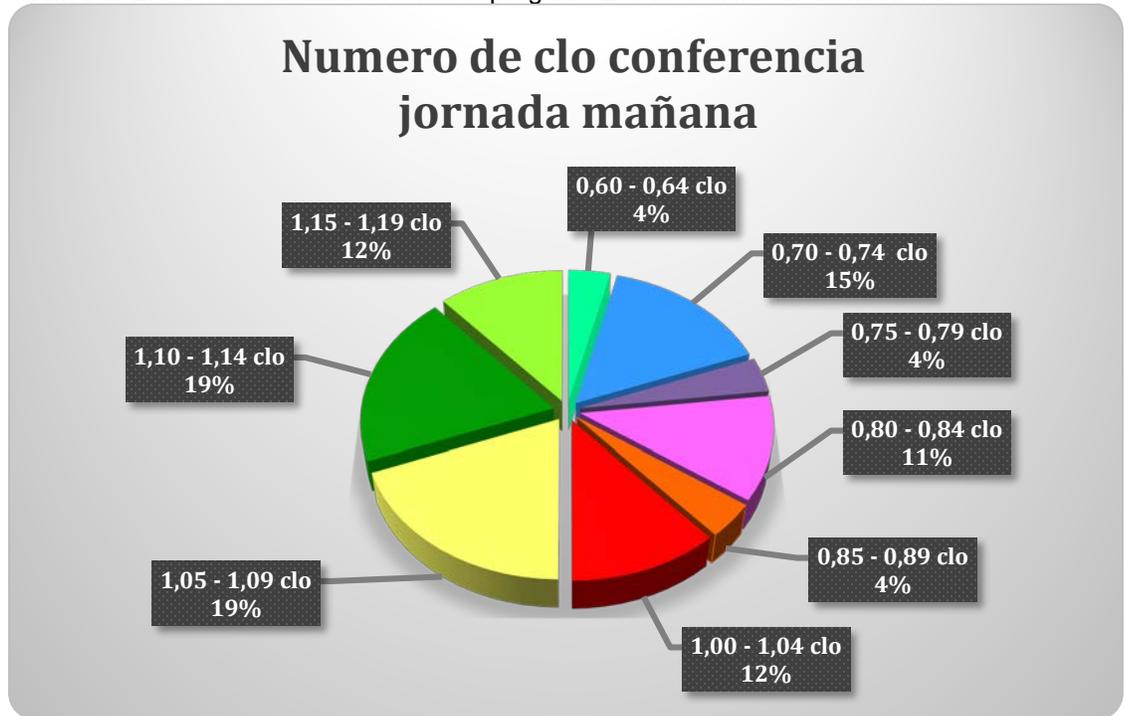
Para hallar el aislamiento térmico de las personas se usó la pregunta en referencia estimando el nivel de clo para los empleados y para los asistentes a conferencias, los resultados de la misma se muestran en las siguientes gráficas:

Gráfico 4. Encuesta satisfacción térmica pregunta 2 empleados



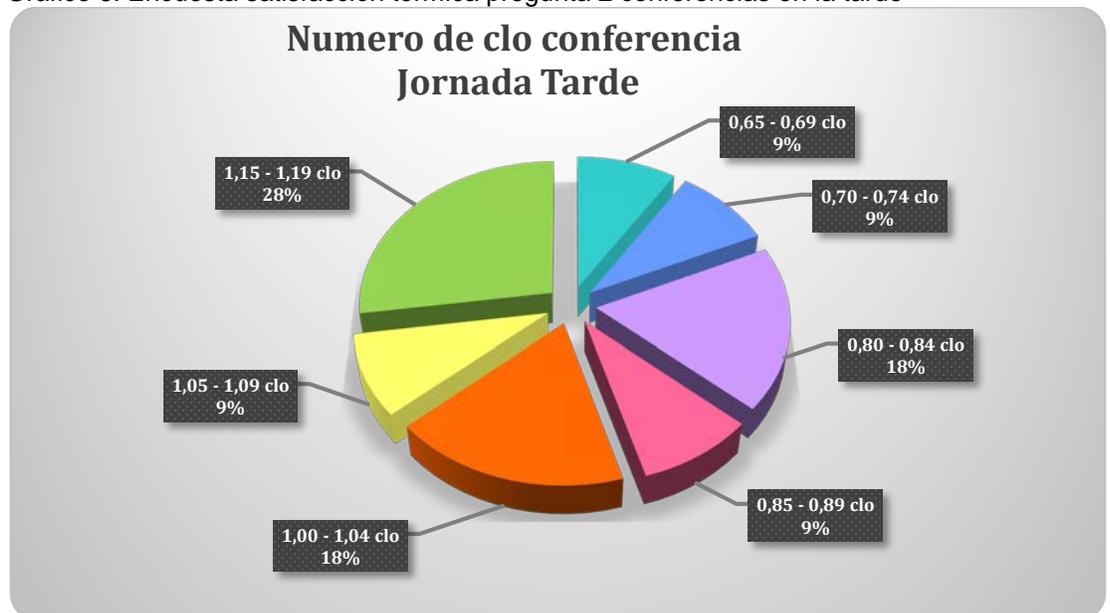
Fuente: elaboración propia

Gráfico 5. Encuesta satisfacción térmica pregunta 2 conferencias en la mañana



Fuente: elaboración propia

Gráfico 6. Encuesta satisfacción térmica pregunta 2 conferencias en la tarde



Fuente: elaboración propia

Teniendo el resultado de las encuestas se saca un promedio de clo con base al total de encuestados (50 personas), como resultado se obtuvo un valor de 0.9842 clo, que para efectos prácticos este valor se tomó como 1 clo.

Conociendo el inconformismo que hay en los usuarios del edificio, se evaluó la zona de confort térmico aceptable y requerida por la Norma FAIAR, siendo estos valores:

- Temperatura ($^{\circ}\text{T}$): $21^{\circ}\text{C} - 23^{\circ}\text{C}$
- Humedad relativa (HR): 30% - 70%

Por medio de la carta psicrométrica aplicada a la ciudad de Bogotá, se ubicó el punto de confort térmico real del edificio, basado en las mediciones realizadas en la sección 3.3 en la cual se encontró que es un parámetro a tener en cuenta ya que la temperatura está ligeramente fuera de los rangos aceptables, como se muestra en el anexo B.

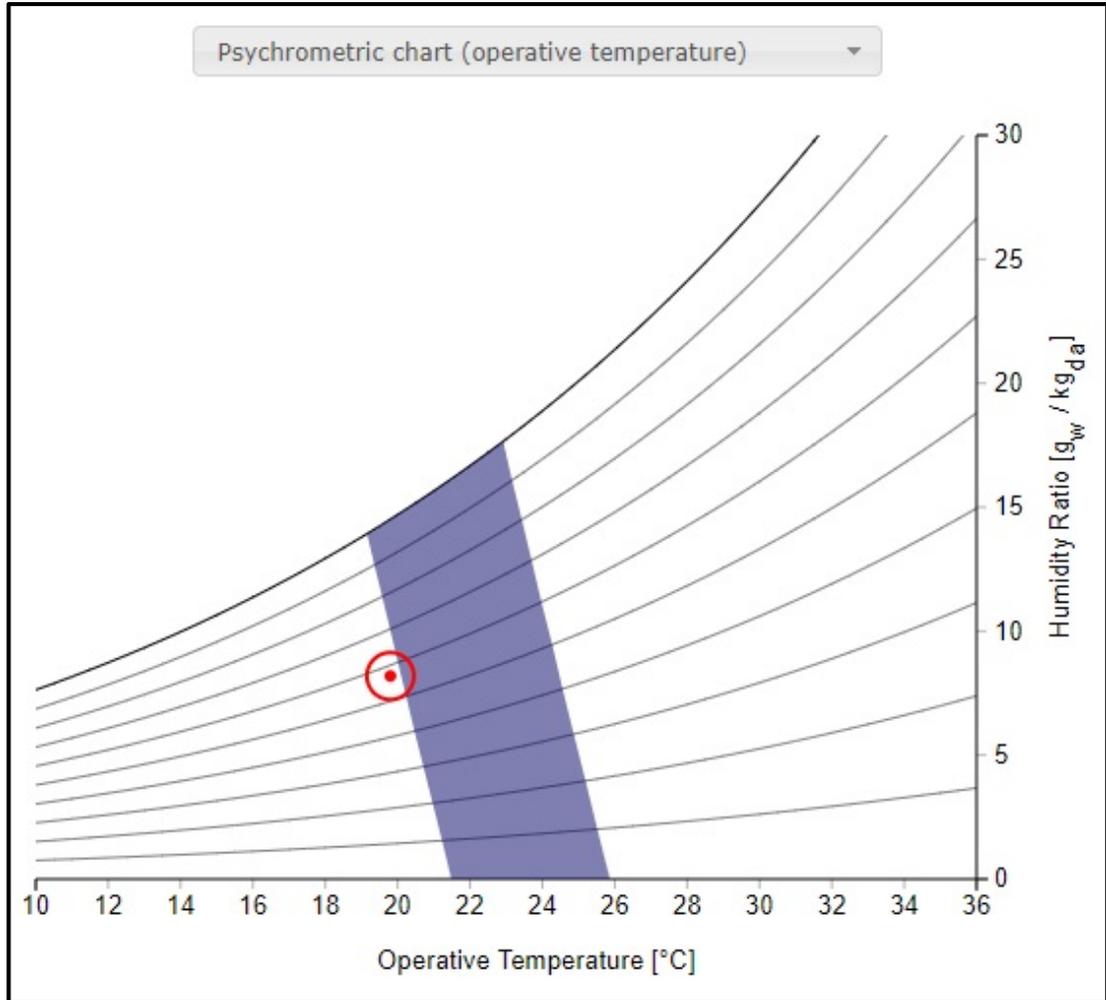
Por lo anterior y con los resultados del porcentaje metabólico y el aislamiento térmico se decidió utilizar el método de Modelo de Computador para Aplicación Interna General debido a que los valores de met y de clo cumplen con los rangos establecidos para este método y se cuenta con un software para el análisis de los resultados, el cual permite obtener valores más precisos sobre el confort térmico de los usuarios de edificaciones que relaciona diferentes variables.

Para el análisis del confort se usa un software desarrollado por la CBE que por sus siglas en inglés traduce Centro de Desarrollo Ambiental el cual hace parte de la Universidad de Berkeley, California, se basa en la norma ASHRAE 55 y funciona teniendo en cuenta la carta psicrométrica con la presión atmosférica de Bogotá, utilizando como punto de entrada la temperatura operativa y como puntos complementarios, la humedad relativa, el porcentaje metabólico y el nivel de clo, los valores usados se obtuvieron de las mediciones hechas en los parámetros del numeral 3.3 mostrados a continuación:

- Temperatura= 19.8°C
- Velocidad de aire= 0 m/s ya que no existen renovaciones de aire en el lugar
- Humedad relativa= 57.5%
- Porcentaje metabólico= 1.1% siendo el mayor en las actividades realizadas
- Aislamiento térmico= 1 clo

Se ingresan al programa y se obtiene la gráfica 7

Gráfico 7. Zona de confort térmico ACAIRE



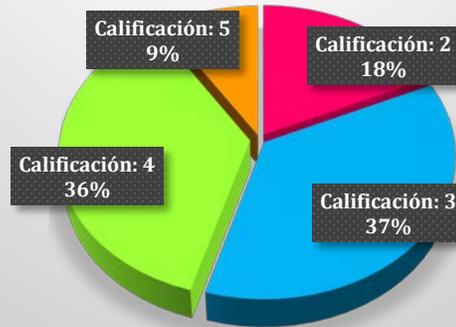
Fuente: elaboración propia con base en el software de CBE de la Universidad de Berkeley

En esta gráfica se puede observar que el punto en el que convergen los factores mencionados anteriormente se encuentra fuera de los rangos de confort térmico (Franja Azul), por lo cual el resultado de esta pregunta es no conforme.

La tercera pregunta hace referencia a la aceptación de la temperatura en la edificación valorándola en una escala de 1 a 5, las respuestas obtenidas fueron las siguientes:

Gráfico 8. Encuesta satisfacción térmica pregunta 3 empleados

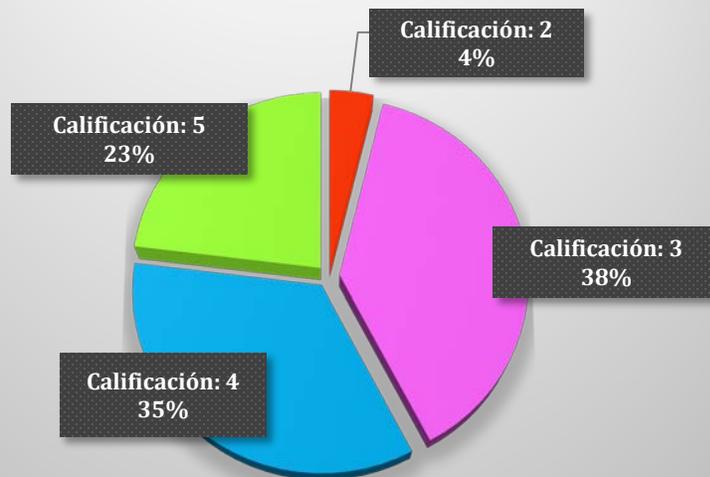
¿De 1 a 5 qué tan satisfecho está usted con la temperatura en el espacio en donde se encuentra ubicado, siendo 1 inaceptable y 5 excelente?



Fuente: elaboración propia

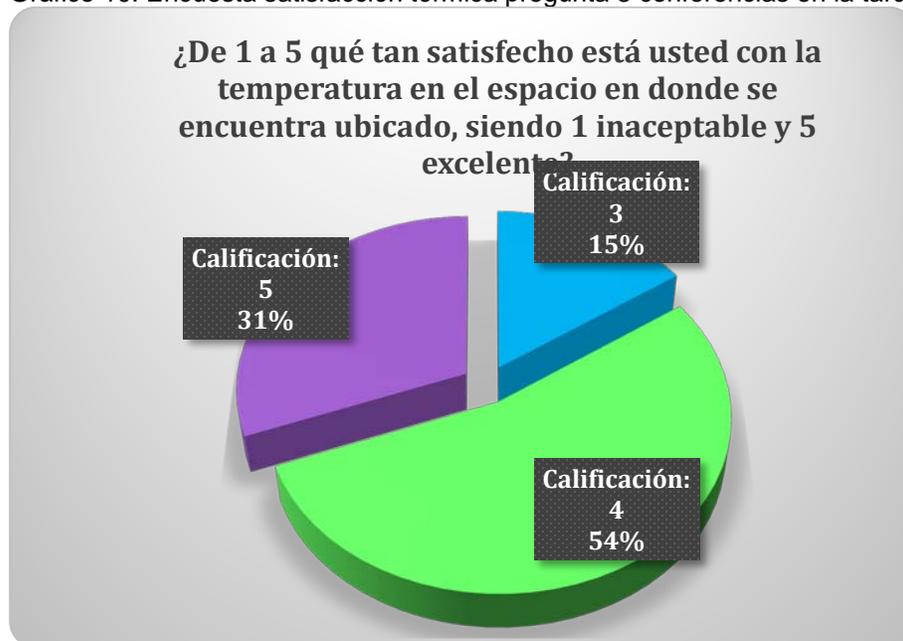
Gráfico 9. Encuesta satisfacción térmica pregunta 3 conferencias en la mañana

¿De 1 a 5 qué tan satisfecho está usted con la temperatura en el espacio en donde se encuentra ubicado, siendo 1 inaceptable y 5 excelente?



Fuente: elaboración propia

Gráfico 10. Encuesta satisfacción térmica pregunta 3 conferencias en la tarde



Fuente: elaboración propia

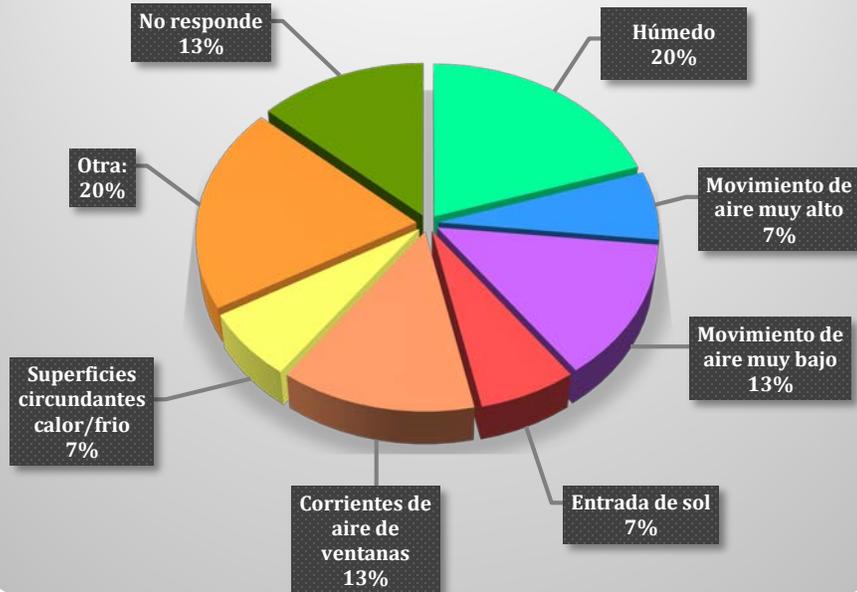
La calificación que cumple con los parámetros ideales está entre 4 y 5, ya que se considera que una calificación de 3 es aceptable, pero la persona no se sentirá totalmente satisfecha con la temperatura, con base a lo anterior se encuentra que los más descontentos con la temperatura son los empleados (55%) y los asistentes a conferencias en la mañana (42%), por otro lado, los asistentes a conferencias en la tarde se sienten a gusto con la temperatura del lugar, teniendo en cuenta que el 85% de los encuestados respondió una calificación de 4 o 5.

Como la mayor parte del total de encuestados están descontentos con la temperatura, el resultado de esta pregunta es no conforme.

La cuarta pregunta está relacionada con el inconformismo térmico de las personas, ya que se busca conocer las razones por las cuales las personas se sienten inconformes con la temperatura del edificio, las respuestas fueron las siguientes:

Gráfico 11. Encuesta satisfacción térmica pregunta 4 empleados

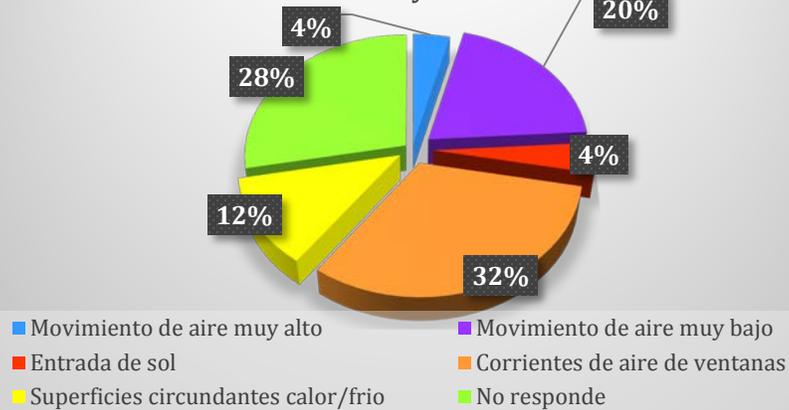
Si usted está descontento con la temperatura en el espacio donde se encuentra, cuál de los siguientes factores contribuye a su descontento:



Fuente: elaboración propia

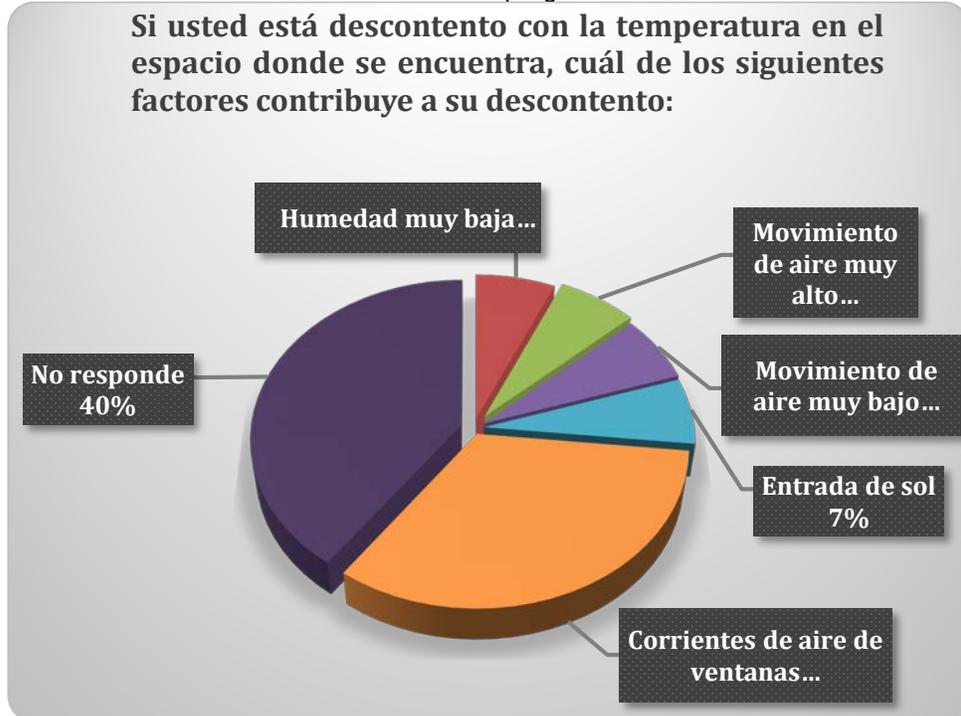
Gráfico 12. Encuesta satisfacción térmica pregunta 4 conferencias en la mañana

Si usted está descontento con la temperatura en el espacio donde se encuentra, cuál de los siguientes factores contribuye a su descontento:



Fuente: elaboración propia

Gráfico 13. Encuesta satisfacción térmica pregunta 4 conferencias en la tarde



Fuente: elaboración propia

Para asistentes a conferencias la razón que más influye en la insatisfacción con la temperatura del espacio donde se encuentran es la presencia de corrientes de aire de ventana, esto debido a que el salón de conferencias no cuenta con un sistema mecánico para la renovación de aire, ni un sistema que controle temperatura y humedad, por lo tanto se hace necesario abrir la ventana ubicada en la parte posterior del salón para hacer circular el aire y evitar concentraciones de Dióxido de carbono (CO₂) producido por la respiración humana, alta temperatura y humedad producida por el calor latente expulsado por las personas en conferencia, además abrir la ventana produce incomodidad por el ruido y contaminación exterior.

Para los empleados son varios los factores que contribuyen con su inconformismo térmico, siendo la alta humedad, corrientes de aire de ventanas y movimiento de aire muy bajo, dependiendo la ubicación de la oficina donde se encuentran; además de esto, expresaron de forma escrita la necesidad de un sistema de climatización, que mantenga estas variables estables.

De acuerdo a las respuestas dadas por los encuestados el resultado de esta pregunta es no conforme.

La quinta pregunta se basa en la opinión de los usuarios de ACAIRE sobre la calidad de aire interior que perciben y se brinda un espacio para que expresen el porqué de su respuesta. Los resultados de esta pregunta fueron:

Gráfico 14. Encuesta satisfacción térmica pregunta 5 empleados



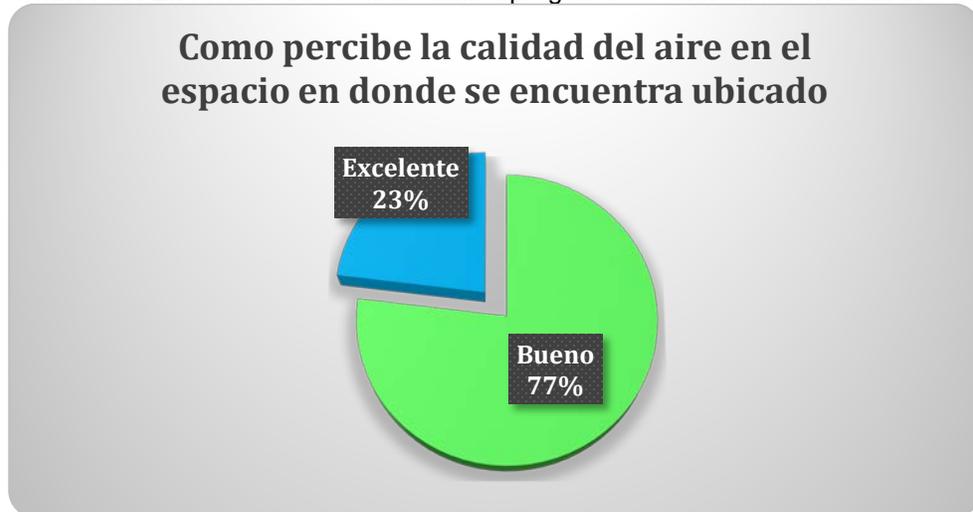
Fuente: elaboración propia

Gráfico 15. Encuesta satisfacción térmica pregunta 5 conferencias en la mañana



Fuente: elaboración propia

Gráfico 16. Encuesta satisfacción térmica pregunta 5 conferencias en la tarde



Fuente: elaboración propia

Con base en lo anterior, se encuentra que la mayoría de las personas encuestadas percibe una calidad de aire aceptable, los empleados manifestaron inconformismo por falta de acondicionamiento de aire, falta de renovación de aire, falta de ventilación creando necesidad de abrir la ventana generando ruido, se presentan cuadros de alergias eventuales, entrada de aire contaminado del exterior debido a la ubicación del edificio y ambiente frío y húmedo con olores contaminantes.

Por otra parte, los asistentes a conferencias en la mañana manifestaron inconformismo por una falta de sensación térmica constante, falta de ventilación, ruido por ventanas abiertas, falta de acondicionamiento de aire y sensación de frío.

Por último, los asistentes a conferencias en la tarde manifestaron una buena sensación de calidad de aire calificándolo como bueno y excelente.

De acuerdo a las respuestas dadas este punto se calificó como no conforme teniendo en cuenta que es mayor la cantidad de personas que tiene una baja sensación de calidad de aire interior.

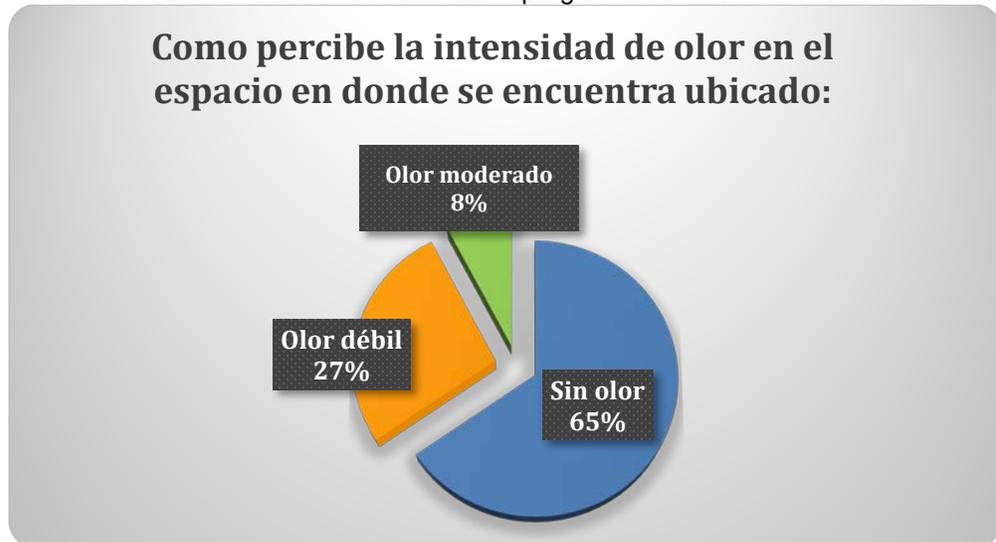
La calidad de aire también se puede ver afectada por olores presentes en el ambiente, por lo tanto, en la encuesta se examinó el nivel de olores en el interior del edificio teniendo en cuenta la percepción de los usuarios y encontrando una gran satisfacción por parte de los mismos.

Gráfico 17. Encuesta satisfacción térmica pregunta 6 empleados



Fuente: elaboración propia

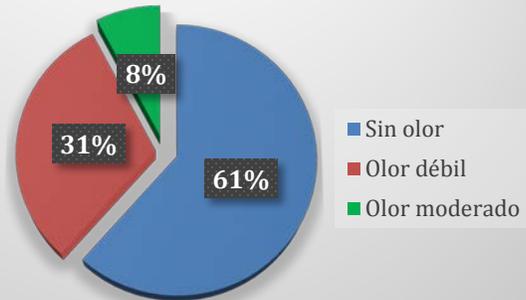
Gráfico 18. Encuesta satisfacción térmica pregunta 6 conferencias en la mañana



Fuente: elaboración propia

Gráfico 19. Encuesta satisfacción térmica pregunta 6 conferencias en la tarde

Como percibe la intensidad de olor en el espacio en donde se encuentra ubicado:



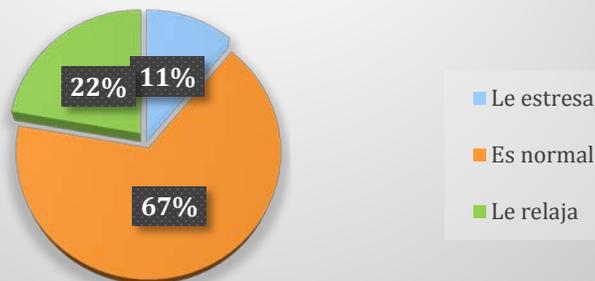
Fuente: elaboración propia

De acuerdo a las respuestas obtenidas se concluye este punto como conforme.

Por último, se preguntó si las condiciones en las que se encontraba el encuestado le eran cómodas con el fin de saber si estas afectaban su estado de ánimo, es decir si el ambiente es estresante, relajante o normal.

Gráfico 20. Encuesta satisfacción térmica pregunta 7 empleados

Seleccione la opción que mejor lo identifica de acuerdo con las condiciones en el espacio en el que esta y a la actividad que está realizando en este momento



Fuente: elaboración propia

Gráfico 21. Encuesta satisfacción térmica pregunta 7 conferencias en la mañana

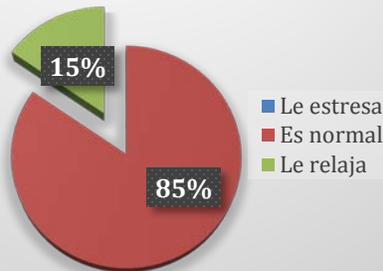
Seleccione la opción que mejor lo identifica de acuerdo con las condiciones en el espacio en el que esta y a la actividad que está realizando en este momento:



Fuente: elaboración propia

Gráfico 22. Encuesta satisfacción térmica pregunta 7 conferencias en la tarde

Seleccione la opción que mejor lo identifica de acuerdo con las condiciones en el espacio en el que esta y a la actividad que está realizando en este momento



Fuente: elaboración propia

El 86% de las personas encuestadas se sienten en un ambiente normal, relajante para el 8% y estresante para el 6% restante.

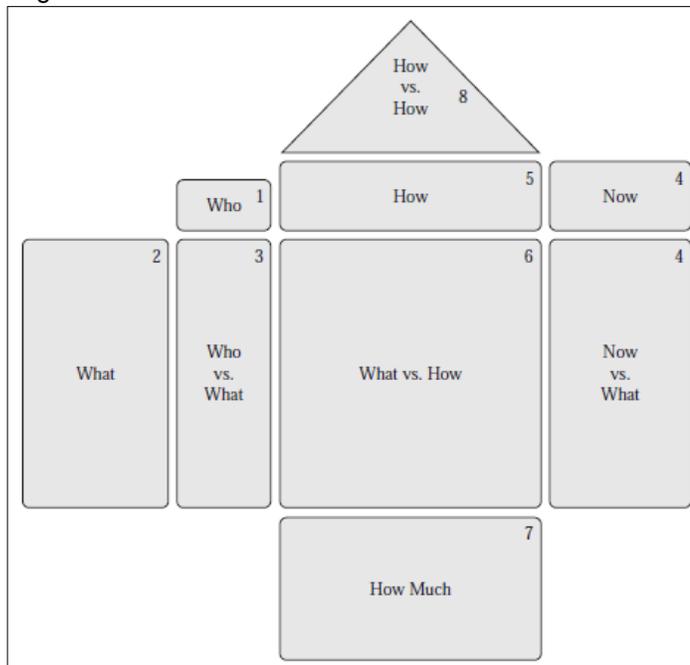
Con base en las respuestas anteriores este punto se calificó como conforme.

4. ANALISIS DE ALTERNATIVAS

Conociendo la problemática ambiental en la que se encuentra ACAIRE, en donde el dióxido de carbono y las partículas en suspensión PM 2.5 se encuentran en estado No Conforme, se establece que debe existir una acción correctora que controle y mejore dichas variables, para lo cual se evalúa las posibles soluciones teniendo en cuenta diferentes sistemas de acondicionamiento de aire.

La metodología para la selección de alternativas en este proyecto se realizó por el método de QFD, siguiendo el procedimiento planteado en el libro “The Mechanical Design Process”, de esta forma es posible integrar no solamente los requerimientos del cliente con la importancia jerárquica de cada uno, sino también se relaciona el “como” solucionar el problema, y a que consumidor beneficia. Para determinar esta serie de parámetros necesarios en el QFD, se construirá la casa de la calidad como se muestra en la figura 13.

Figura 13. Casa de la calidad



Fuente: ULLMAN, David G., The mechanical design process. Chapter 6, Understanding the Problem and the Development of Engineering Specifications. Fourth edition. New York: McGraw-Hill, 2010. 147p

Para iniciar, se deben identificar los “Who”, quienes serán los consumidores del producto, en este caso, serán los diferentes espacios en los que se evaluaron los parámetros en ACAIRE, siendo estos: salón de conferencias, oficinas gestión de calidad, coordinación, contabilidad, dirección ejecutiva, laboratorio cocina, archivo y recepción. En cada uno de estos espacios, se encuentra el personal administrativo

de ACAIRE que permanecen en su lugar de trabajo alrededor de 8 horas al día, por lo cual es muy importante que el espacio de trabajo esté en condiciones óptimas de confort humano definido en la Norma ASHRAE 55.

Luego se establecen los “what”, qué requerimientos tiene el cliente sobre el producto que se está diseñando. De ese modo, los requerimientos del cliente se dividen en dos grupos, en el primero se ubicarán los parámetros que afectan la CAI, definidos en la norma FAIAR y luego los parámetros deseables del proyecto, en cuanto al costo, el mantenimiento, consumo de energía, el proceso de instalación y el espacio que ocuparía. Para el primer grupo se le dio una importancia del 40% ya que la diferencia entre las alternativas planteadas para controlar los parámetros no es muy significativa, y al segundo grupo se le dio una importancia del 60%, ya que estos parámetros determinarían cual solución se acomoda mejor a las necesidades de la empresa.

Luego de definir los consumidores del proyecto y los requerimientos que intervienen en el producto, se relacionan entre sí, y se califican numéricamente según la relación de efecto del requerimiento sobre el consumidor, sin embargo, en este caso los requerimientos deseables no tienen relación directa con los consumidores, dado que estos parámetros son generales para todos los espacios, por lo cual en la matriz de relación (Cuadro 3) se marcó la misma calificación en todos los espacios, dándole mayor relevancia al costo y el espacio que ocuparía el nuevo sistema.

Para dar la calificación numérica a los aspectos que, si se relacionan entre sí, se tuvo en cuenta el resultado de las mediciones en cada espacio con calificaciones entre 1 y 10, siendo 1 la calificación si el parámetro no requiere atención en el espacio estudiado y 10 si está en estado crítico y/o requiere atención inmediata.

Cuadro 3. Matriz Who Vs What

		Recepcion	Salón de conferencias	Oficinas Gestión de calidad	Coordinación	Contabilidad	Dirección ejecutiva	Laboratorio	Cocina	Archivo	
Requerimientos de Norma FAJAR	40%	Temperatura	1	7	4	6	3	7	8	3	6
		Humedad relativa	2	3	2	2	1	1	1	1	1
		Dióxido de Carbono	7	10	9	8	8	7	8	9	9
		Monóxido de carbono	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		Partículas en suspensión por gravimetría (PM 2,5)	6	8	10	7	7	7	7	8	6
Requerimientos deseables	60%	Costo	9	9	9	9	9	9	9	9	9
		Mantenimiento	6	6	6	6	6	6	6	6	6
		Instalacion	6	6	6	6	6	6	6	6	6
		Espacio que ocupa	9	9	9	9	9	9	9	9	9
		Consumo de energía	7	7	7	7	7	7	7	7	7

Fuente: elaboración propia.

Para continuar con la selección de alternativas, es necesario conocer la condición actual del producto, definido como el “now”, es decir, de qué forma se está solucionando el problema actualmente, y así identificar cuáles son las debilidades para fortalecerlas con la alternativa que posteriormente se seleccionara.

Para ACAIRE actualmente, el control de la Calidad de Aire Interior es inadecuado ya que la renovación de aire se hace por ventilación natural, por lo tanto, los parámetros para el confort térmico y la CAI no están siendo controlados y no se encuentran en los rangos sugeridos por la Norma FAJAR, además por la ubicación el aire exterior contamina el aire interior con PM 2.5, dióxido de carbono y posibles bacterias que viajan en el aire.

La matriz mostrada en el cuadro 4 relaciona la condición actual de ACAIRE con los diferentes requerimientos de diseño, los cuales se califican con una relación Alta (A), Media (M), Baja (B) o No Aplica (NA).

Cuadro 4. Matriz Now vs What

			Ventilación Natural
Requerimientos de Norma FAIAR	40%	Temperatura	M
		Humedad relativa	M
		Dióxido de Carbono	B
		Monóxido de carbono	B
		Partículas en suspensión por gravimetría (PM 2,5)	B
Requerimientos deseables	60%	Costo	NA
		Mantenimiento	NA
		Instalación	NA
		Espacio que ocupa	NA
		Consumo de energía	NA

Fuente: elaboración propia.

La calificación de las condiciones actuales se hace teniendo en cuenta que el sistema de ventilación natural es ineficiente dado que la ventilación natural produce corrientes de aire que, aunque en ocasiones reduce la temperatura en el interior del edificio, también ingresa partículas contaminantes que afecta la CAI y puede causar enfermedades en las personas ocupantes del edificio.

Conociendo el estado actual de la CAI y teniendo el dióxido de carbono y las partículas PM 2.5 como parámetros críticos que se desean mejorar, se plantean las alternativas de acondicionamiento de aire que pueden controlar y mejorar la CAI en el edificio, siendo la ventilación mecánica, sistema centralizado VRF, y sistema por Mini Split. Estas alternativas se definen como “How” en la casa de la calidad de aire.

De acuerdo a lo anterior, se plantea la matriz How Vs What (Cuadro 5) donde se relacionan las opciones de solución y los requerimientos de diseño, calificándolos con una relación Alta (A=5), Media (M=3) o Baja (B=1), con su respectivo valor numérico que posteriormente se utilizará para hacer la evaluación y selección de la mejor alternativa.

Cuadro 5. Matriz How Vs What

			Ventilación Mecánica	Sistema de Climatización VRF	sistema por Mini Split
Requerimientos de Norma FAIAR	40 %	Temperatura	M	A	A
		Humedad relativa	A	A	A
		Dióxido de Carbono	A	A	A
		Monóxido de carbono	A	A	A
		Partículas en suspensión por gravimetría (PM 2,5)	A	M	M
Requerimientos deseables	60 %	Costo	A	M	M
		Mantenimiento	A	M	M
		Instalación	B	M	A
		Espacio que ocupa	A	B	A
		Consumo de energía	A	B	M

Fuente: elaboración propia.

Para finalizar, se establece la importancia de cada alternativa de solución, teniendo en cuenta las calificaciones dadas en los cuadros 5 y 3, mediante una operación algebraica que relaciona los valores numéricos planteados, de forma que al finalizar el proceso la alternativa que tenga mayor puntaje será la seleccionada.

El proceso matemático se explicará a continuación para el primer requerimiento y la primera alternativa de solución, es decir, la recepción y la ventilación mecánica, en este paso se multiplica cada factor de la recepción, con cada factor de la ventilación mecánica, como se muestra en la figura 14. De este proceso resulta el valor V1, calculado así:

Ecuación 6. Procedimiento matemático QFD

$$V1 = (1*3+2*5+7*5+1*5+6*5)*0.4 + (9*5+6*5+6*1+9*5+7*5)*0.6$$

$$V1 = 129.8$$

Fuente: elaboración propia

Figura 14. Selección de alternativas QFD

		Recepcion	Salón de conferencias	Oficinas Gestión de calidad	Coordinación	Contabilidad	Dirección ejecutiva	Laboratorio	Codna	Archivo	Ventilación Mecánica	Sistema de Climatización VRF	systema por Mini Split
Requerimientos de Norma FAIAR	40%	Temperatura	1								3	x 40%	
		Humedad relativa	2								5		
		Dióxido de Carbono	7								5		
		Monóxido de carbono	1								5		
		Partículas en suspensión por gravimetría (PM 2,5)	6								5		
Requerimientos deseables	60%	Costo	9								5	x 60%	
		Mantenimiento	6								5		
		Instalacion	6								1		
		Espacio que ocupa	9								5		
		Consumo de energía	7								5		

Figura 15. Selección de alternativas QFD

Luego se repite el proceso combinando todos los espacios y las alternativas de solución, los resultados se expresan en la última parte de la casa de calidad, definida como "How Much", cuando se obtienen todos los valores, se suman los valores correspondientes a cada columna de alternativa de solución, y según los puntajes obtenidos, el valor mayor corresponde a la mejor alternativa y el menor será la alternativa que menos se acomode a los requerimientos de diseño. Así se concluye que la mejor opción es la ventilación mecánica.

Cuadro 6. Casa de la calidad aplicada

		Recepcion	Salón de conferencias	Oficinas Gestión de calidad	Coordinación	Contabilidad	Dirección ejecutiva	Laboratorio	Cocina	Archivo	Ventilación Mecánica	Sistema de Climatizacion VRF	sistema por Mini Split	Ventilación Natural	
Requerimientos de Norma FAJAR	40%	Temperatura	1	7	4	6	3	7	8	3	6	3	5	5	M
		Humedad relativa	2	3	2	2	1	1	1	1	1	5	5	5	M
		Dióxido de Carbono	7	10	9	8	8	7	8	9	9	5	5	5	B
		Monóxido de carbono	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	5	5	B
		Partículas en suspensión por gravimetría (PM 2,5)	6	8	10	7	7	7	7	7	8	6	5	3	3
Requerimientos deseables	60%	Costo	9	9	9	9	9	9	9	9	9	5	3	3	NA
		Mantenimiento	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	3	3	NA
		Instalacion	6	6	6	6	6	6	6	6	6	1	3	5	NA
		Espacio que ocupa	9	9	9	9	9	9	9	9	9	5	1	5	NA
		Consumo de energía	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	5	1	3
		Recepcion									129,8	104,8	124,6		
		Salón de conferencias									149	127,2	147		
		Oficinas Gestión de calidad									145,4	119,6	139,4		
		Coordinación									139,8	118	124,6		
		Contabilidad									134,2	110	129,8		
		Dirección ejecutiva									137	110	135,8		
		Laboratorio									140,2	120	139,8		
		Cocina									140,2	113,2	133		
		Archivo									129,8	116,8	136,6		
											1245,4	1039,6	1210,6		

Fuente: elaboración propia

5. DISEÑO DETALLADO

5.1 DISEÑO DEDUCTERÍA

Definido el método de control empleado para corregir la CAI del edificio se procedió a hacer el diseño de la ductería por la cual viajará el aire a los diferentes espacios por medio del método de velocidad constante sugerido por el Manual de Carrier.

En primer lugar, se definió el trazado por el cual irían los ductos, para esto se hizo un levantamiento de planos de cada planta de la edificación para poder definir el centro de las habitaciones y garantizar que los ductos estuvieran en la parte central de cada espacio, esto con el fin de que el aire que se inyectará se distribuya uniformemente.

Seguido de esto, se propone la ubicación de los difusores de aire en los centros de los espacios, con la salvedad de que en los espacios de mayor área se pondrán más de un difusor, garantizando así una mejor cobertura del área total del espacio.

La red de ductería se diseña teniendo en cuenta que los tramos sean rectos y con la menor cantidad de accesorios debido a que estos presentan pérdidas en la presión del sistema que generan resistencia al paso del aire por los ductos.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente se realiza el plano con el recorrido de la red de ductos, la ubicación de los mismos, ubicación de los difusores de aire y ubicación de los accesorios con el fin de poder establecer las longitudes de cada tramo.

Como segunda instancia se le dio un nombre a cada tramo de ducto teniendo en cuenta que después de una "T" o en el lugar donde se encuentre un difusor se debe hacer una reducción de área de ducto con el fin de mantener la presión y la velocidad lo más constante posible.

Como tercera medida se establecen las cantidades de renovaciones de aire necesarias para cada espacio, estas se presentan a continuación en la tabla 8:

Tabla 8. Tiempo de renovación de aire en interiores

Tipo de Local	Renov / h
Armarios roperos	4-6
Lavanderías	10-20
Auditorios	6-8
Locales acumuladores	5-10
Aulas	5-7
Locales de aerografía	10-20
Bibliotecas	4-5
Locales de decapado	5-15
Cabinas de pintura	25-50
Oficinas	4-8
Cámaras blindadas	3-6
Piscinas	3-4
Cines, Teatros	5-8
Remojos	0-80
Cocinas domésticas	15-25
Resturantes - Casinos	8-12
Cocinas colectividades	15-30
Salas de conferencia	6-8
Cuartos de baño	5-7
Salas de espera	4-6
Despachos de reuniones	6-8
Salas de fotocopia	10-15
Duchas	12-25
Salas de máquinas	10-40
Fundiciones	8-15
Salas de reuniones	5-10
Garajes	6
Talleres (muchas alteración)	10-20
Gimnasios	4-6
Talleres (poca alteración)	3-6
Habitaciones	3-8
Talleres de montajes	4-8
Inodoro en domicilio	4-5
Talleres de soldadura	20-30
Inodoro público/industrial	8-15
Tiendas	4-8
Laboratorios	8-15
Tintorerías	5-15
Laminadores	8-15
Vestuarios	6-8

Fuente: SODECA. Cálculo y diseño de sistemas de ventilación. {en línea}. {09 abril de 2019}. Disponible en: (https://www.sodeca.com/Content/img/InformacioTecnica_02.pdf)

Basados en la información presentada en la tabla 8 se establecen los valores de los tiempos de renovación para cada espacio, estos se presentan a continuación en la tabla 9:

Tabla 9. Tiempo de renovación de aire ACAIRE

Espacio	Renovación es por hora (Renov/h)	Tiempo de Renovación (min)
<u>PISO 1</u>		
Laboratorio	15	4
Recepción	6	10
Cocina	25	2.4
Archivo	5	12
Dirección Técnica	8	7.5
<u>PISO 2</u>		
Salón de Conferencias	8	7.5
Oficinas Calidad	8	7.5
Contabilidad	8	7.5
Dirección Ejecutiva	8	7.5
Coordinación	8	7.5
<u>Promedio</u>		<u>7.34</u>

Fuente: elaboración propia

Al tener cada espacio un tiempo de renovación diferente se opta por sacar un promedio de los mismos, el cual dio un valor de 7.34 minutos debido a que lo que se busca es controlar todos los espacios al tiempo con el fin de evitar que el aire contaminado salga de un espacio y entre a contaminar otro. De acuerdo a lo anterior el tiempo real de renovación se estableció en 7 minutos.

Conociendo el área y la altura de cada espacio se halla el volumen de los mismos y usando el tiempo de renovación establecido previamente se calcula el caudal de aire necesario para renovar el volumen de aire dentro de cada espacio en el tiempo establecido.

Además de esto se consultó en el RITE (Reglamento Técnico de Instalaciones Térmicas en Edificaciones) el caudal de aire exterior que debe entrar al edificio por persona, el RITE clasifica los espacios en 4 categorías:

IDA 1: Este es para espacios que requieren la mayor calidad de aire debido a sus funciones, esta clasificación aplica para hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías.

IDA 2: Esta clasificación se usa en espacios que necesitan una buena calidad de aire debido a la gran cantidad de tiempo de permanencia de las personas en su interior, por eso es la adecuada para oficinas, residencias, salas de lectura, museos, salas de tribunales, aulas de enseñanza y asimilables y piscinas.

IDA 3: Este aplica a espacios en los cuales a pesar de tener gran flujo de personas es suficiente tener una calidad de aire media debido a que las mismas no tiene una alta permanencia dentro del lugar sino que por el contrario están en constante circulación, se usa en edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de hoteles y similares, restaurantes, cafeterías, bares, salas de fiestas, gimnasios, locales para el deporte (salvo piscinas) y salas de ordenadores.⁸¹

IDA 4: Se usa en lugares en los cuales la calidad de aire es baja.

De acuerdo a lo anterior ACAIRE por tratarse de oficinas en las cuales el personal permanece un alto número de horas al día en su interior entra dentro de la clasificación de IDA 2.

Conociendo la clasificación según el RITE es posible conocer el caudal de ventilación mínimo que debe tener cada persona, estos se muestran a continuación en la tabla 10.

Tabla 10. Caudales de aire exterior dependiendo de la calidad de aire interior RITE

Categoría	dm ³ /s por persona
IDA 1	20
IDA 2	12,5
IDA 3	8
IDA 4	5

Fuente: REGLAMENTO DE INSTALACIONES TERMICAS EN LOS EDIFICIOS. Madrid. RITE, 2013. P. 46

Esta tabla se usa en espacios en los cuales el porcentaje metabólico de las personas sea de alrededor de 1.2 met y sea un espacio libre de humo de cigarrillo. Como se concluyó en el análisis de la encuesta de confort térmico realizada en capítulos anteriores el porcentaje metabólico de las personas en el edificio es de alrededor de 1.1 met de acuerdo a las actividades que realizan, y al ser el edificio un espacio libre de humo de cigarrillo es pertinente el uso de esta tabla.

De acuerdo a lo anterior el caudal de aire exterior por persona para ACAIRE sería de 12.5 dm³/s para cada persona, esto equivale a 0.0125 m³/s por persona.

⁸¹REGLAMENTO DE INSTALACIONES TERMICAS EN LOS EDIFICIOS. Madrid. RITE, 2013. p. 45

Conociendo este valor se compara el caudal necesario para renovar el aire en cada espacio con el caudal mínimo requerido según el RITE dentro del espacio de acuerdo a las personas en su interior; para esto se estableció la comparación dejando la mayor cantidad de personas que pueden estar dentro de cada espacio, es decir se analizó en condiciones en las cuales el edificio se encuentre lleno. Esta cantidad de personas se alcanza en días de capacitaciones y conferencias. En la tabla 11 se multiplicaron la cantidad de personas dentro de cada espacio y el caudal de aire propuesto por el RITE para realizar la comparación.

Tabla 11. Caudal de aire calculado VS caudal necesario según el RITE

Espacio	Altura (m)	Área (m ²)	Volumen (m ³)	Tiempo de Renovación (min)	Caudal Necesario (m ³ /s)	Personas por Espacio	Caudal/Persona RITE (m ³ /s)	Caudal/Espacio RITE (m ³ /s)
PISO 1								
Laboratorio	2.79	52.41	146.22	7	0.348	10	0.0125	0.125
Recepción	2.79	19.07	53.21	7	0.127	2	0.0125	0.025
Cocina	2.79	11.17	31.16	7	0.074	4	0.0125	0.050
Archivo	2.79	7.22	20.14	7	0.048	1	0.0125	0.013
Dirección Técnica	2.62	4.60	12.05	7	0.029	2	0.0125	0.025
PISO 2								
Salón de Conferencias	2.67	33.58	89.66	7	0.213	20	0.0125	0.250
Oficinas Calidad	2.17	17.41	37.78	7	0.090	4	0.0125	0.050
Contabilidad	2.26	17.35	39.21	7	0.093	2	0.0125	0.025
Dirección Ejecutiva	2.70	12.53	33.82	7	0.081	1	0.0125	0.013
Coordinación	2.68	10.99	29.45	7	0.070	1	0.0125	0.013
<u>Q Total (m³/s)</u>					<u>1.173</u>			

Fuente: elaboración propia

Como se muestra en la tabla 11, anteriormente presentada, el caudal por espacio es suficiente para renovar el aire en el mismo y garantizar un caudal mínimo por persona en caso de estar completamente llenos cada uno de los espacios dentro del edificio.

Conociendo el caudal total requerido se procede a iniciar el diseño del sistema de ductos por los cuales viajará el aire a cada espacio, para esto se usó como referencia el “Manual de Aire Acondicionado de Carrirer”.

Como primera medida para el diseño se establece la velocidad a la cual debe ir el fluido, esta depende de si el tramo analizado es un tramo principal o si es un tramo derivado y adicionalmente depende del tipo de espacio en el cual se va a ubicar el ducto, esto con el fin de garantizar un control de ruido óptimo dentro de los mismos. Estos valores fueron extraídos de la tabla 12 que se presenta a continuación.

Tabla 12. Velocidades recomendadas para sistemas de baja velocidad Manual de Carrier

APLICACIÓN	FACTOR DE CONTROL DEL NIVEL DE RUIDO (conductos principales)	FACTOR DE CONTROL – ROZAMIENTO EN CONDUCTO			
		Conductos principales		Conductos derivados	
		Suministro	Retorno	Suministro	Retorno
Residencias	3	5	4	3	3
Apartamentos Dormitorios de hotel Dormitorios de hospital	5	7,5	6,5	6	5
Oficinas particulares Despachos de directores Bibliotecas	6	10	7,5	8	6
Salas de cine y teatro Auditorios	4	6,5	6,5	6	4
Oficinas públicas Restaurantes de primera categoría Comercios de primera categoría Bancos	7,5	10	7,5	8	6
Comercios de categoría media Cafeterías	9	10	7,5	8	6
Locales industriales	12,5	15	9	11	7,5

Fuente: CARRIER. Manual de aire acondicionado. Barcelona: Marcombo. 2-43p. ISBN 84-267-0115-9

Debido a que los ductos serán instalados en oficinas las velocidades se establecen en 10 m/s y 8 m/s para los ductos principales y para los derivados respectivamente.

De acuerdo a la distribución de los ductos las velocidades seleccionadas para los mismos se muestran en la tabla 13 y fueron las siguientes:

Tabla 13. Velocidad de aire en los ductos ACAIRE

Espacio	Tramo	Velocidad (m/s)
PISO 1		
Laboratorio	Principal	10
Recepción	Principal	10
Cocina	Principal	10
Archivo	Derivado	8
Dirección Técnica	Derivado	8
PISO 2		
Salón de Conferencias	Principal	10
Oficinas Calidad	Principal	10
Contabilidad	Derivado	8
Dirección Ejecutiva	Principal	10
Coordinación	Derivado	8

Fuente: elaboración propia

En segunda instancia conociendo el caudal total dentro de los ductos se empieza a distribuir el mismo dentro de cada sección del ducto garantizando que en cada espacio salga el caudal necesario para la renovación de aire y conociendo la velocidad se usa el Manual de Carrier (Ver Anexo B) en el cual se encuentran los valores de caudal, velocidades, diámetros de ductos y pérdidas por rozamiento.

Al cruzar el valor del caudal en m^3/s y la velocidad en m/s dentro del gráfico se encuentra un valor aproximado del diámetro del ducto. Conociendo este valor es necesario consultar la tabla 14 en la cual se encuentran las medidas de los ductos y la sección o área efectiva del ducto, para el caso de la sección A el diámetro equivalente dio entre 500 y 600 mm, con el fin de tener los ductos que ocupan el menor espacio posible el ducto que más se ajusta es el de diámetro 526 mm que tiene medida horizontal de 500 mm y vertical de 450 mm, esta selección se muestra en la tabla 14 a continuación.

Tabla 14. Dimensión de conductos Manual de Carrier

MEDIDAS DEL CON-DUCTO (mm)	150		200		250		300		350		400		450		500		550		
	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	
250	0,036	213	0,048	249	0,06	287													
300	0,042	231	0,057	272	0,071	302	0,087	333											
350	0,048	249	0,067	292	0,084	328	0,103	361	0,119	389									
400	0,055	264	0,075	308	0,094	348	0,118	384	0,134	414	0,154	445							
450	0,061	280	0,084	328	0,106	368	0,129	407	0,151	439	0,173	470	0,196	501					
500	0,067	292	0,082	343	0,117	384	0,142	427	0,168	460	0,192	496	0,216	526	0,242	556			
550	0,072	305	0,10	358	0,128	404	0,156	447	0,184	485	0,21	518	0,238	551	0,264	582	0,292	612	
600	0,078	315	0,107	371	0,139	422	0,169	465	0,198	503	0,229	541	0,257	574	0,288	607	0,316	638	
650	0,082	326	0,116	384	0,149	435	0,182	483	0,214	524	0,246	561	0,278	597	0,31	630	0,341	664	

Fuente: CARRIER. Manual de aire acondicionado. Barcelona: Marcombo. 2-39p. ISBN 84-267-0115-9

Conociendo el diámetro equivalente aproximado se busca dentro de la tabla un valor similar y se escoge el tamaño del ducto, con este dato se verifica la velocidad real a la que viajará el aire dentro del ducto dividiendo el caudal sobre el área. Este proceso se hace para cada ducto.

Al hacer este proceso con cada ducto se presentó el inconveniente de que al ser los espacios tan pequeños los caudales necesarios para renovar el volumen de aire en los mismos eran muy bajos y debido a que según el gráfico 7 del Manual de Carrier (Ver Anexo B) los caudales menores a $0.3 m^3/s$ con velocidad de $10 m/s$ dan un diámetro equivalente menor a 200 mm y según la tabla 14 anteriormente expuesta el diámetro estándar más pequeño es de 213, por lo cual no habría un ducto para esta cantidad de aire tan pequeña que garantizara esta velocidad.

Para dar solución a lo mencionado anteriormente se optó por hacer ingeniería inversa para la selección de los ductos, dejando en los tramos del final el tamaño de ducto estándar más pequeño y aumentándolo en cada cambio de sección

teniendo en cuenta que por el área efectiva de este ducto iba a pasar un mayor caudal para garantizar la velocidad establecida en pasos anteriores.

De acuerdo a lo anterior el nuevo caudal requerido será de 2.14 m³/s pero el caudal disponible para cada área será el mismo exceptuando la recepción, la dirección técnica, la dirección ejecutiva y la oficina de contabilidad, en las cuales saldrá más caudal del necesario, lo anterior no afecta los espacios ya que significa que tendrán más de una renovación en el tiempo establecido. Esto se muestra a continuación en la tabla 15.

Tabla 15. Cálculo de ductos

Sector	Caudal Necesario (M3/S)	Velocidad Necesaria (m/s)	Caudal Real (M3/S)	Velocidad Real (m/s)	Área (m2)	Diámetro Equivalente (mm)	Perfil Horizontal (mm)	Perfil Vertical (mm)
A	1.173	10	2.140	9.907	0.216	526	500	450
B	1.099	10	2.066	10.539	0.196	501	450	450
C	0.551	10	1.044	9.850	0.106	368	450	250
D	0.475	10	0.708	9.974	0.071	302	300	250
E	0.359	10	0.592	10.388	0.057	272	300	200
F	0.243	10	0.476	9.918	0.048	249	250	200
G	0.127	10	0.360	10.000	0.036	213	250	150
H	0.077	8	0.336	7.999	0.042	231	300	150
I	0.029	8	0.288	8.000	0.036	213	250	150
A2	0.547	8	1.022	8.883	0.115	407	450	300
B2	0.502	10	0.977	9.481	0.103	361	350	300
C2	0.339	10	0.618	9.231	0.067	292	350	200
D2	0.294	10	0.573	10.061	0.057	272	300	200
E2	0.187	10	0.467	9.724	0.048	249	250	200
F2	0.081	10	0.360	10.000	0.036	213	250	150
G2	0.163	8	0.358	7.419	0.048	249	250	200
H2	0.093	8	0.288	8.000	0.036	213	250	150

Fuente: elaboración propia

5.2 CALCULO DE PÉRDIDAS

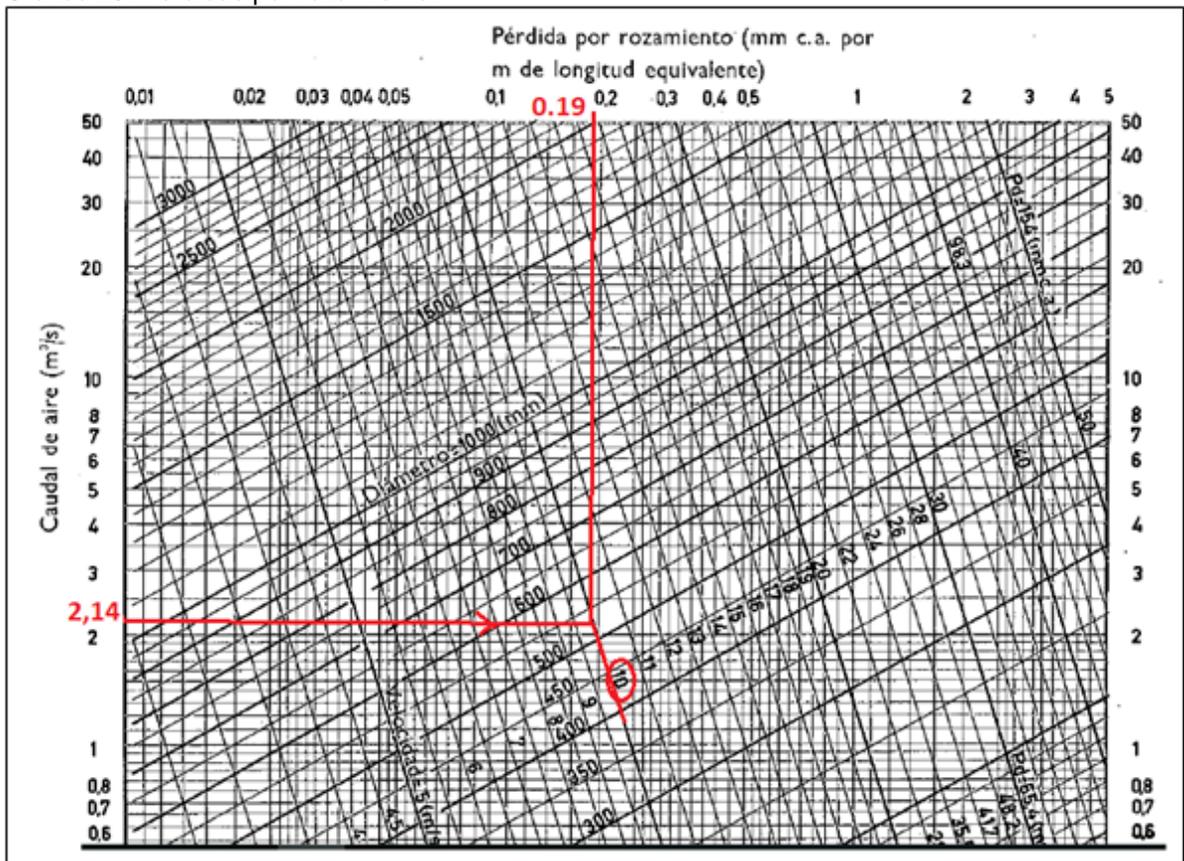
Después de calcular la ductería se procede a hallar todas las pérdidas que afectan el flujo del aire en el sistema, dado que para la selección del ventilador se debe conocer el caudal total requerido teniendo en cuenta que se debe contrarrestar las pérdidas generadas dentro de la ductería.

5.2.1 Pérdidas por rozamiento. El flujo de aire dentro de un ducto genera una pérdida de presión estática, que depende de la velocidad del aire, la rugosidad del material, el área y la longitud del ducto, variables que se relacionan en el Anexo C, suministrado por el manual de Carrier, donde en el eje vertical se tiene el caudal en m^3/s y en las líneas diagonales la velocidad en m/s .

Para calcular estas pérdidas, se cruzan los valores de caudal y velocidad propios de cada tramo y se proyecta al eje superior o inferior hallando la pérdida en milímetros de columna de agua (mm.c.a.) que posteriormente se multiplica por la longitud de la sección, este procedimiento se realiza con cada sección del sistema de ductos y al final se suman así encontrar la pérdida por rozamiento total.

En el gráfico 23 se muestra el procedimiento realizado para el tramo A, que se tomará como ejemplo en todos los cálculos de pérdidas.

Gráfico 23. Pérdidas por rozamiento.



Fuente: Elaboración propia con base en CARRIER. Manual de aire acondicionado. Barcelona: Marcombo. 2-38p. ISBN 84-267-0115-9

Para el tramo de ejemplo se tiene un caudal de $2.14 m^3/s$ y una velocidad de $10 m/s$, con la gráfica se encuentra una pérdida de $0,19 mm c.a.$ que al ser multiplicado por la longitud de $3.22 m$, se obtiene una pérdida de $0.515 mm c.a.$

En la tabla 16 se muestran los resultados para todos los tramos de la ductería.

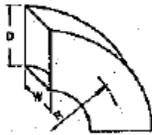
Tabla 16. Pérdidas por rozamiento en tramos rectos

Sector	Longitud (m)	Perdida (mm.c.a)	Perdida por Rozamiento (mm.c.a)
A	3.22	0.160	0.515
B	0.43	0.190	0.082
C	0.81	0.220	0.178
D	1.30	0.250	0.325
E	4.15	0.275	1.142
F	4.06	0.375	1.524
G	5.62	0.325	1.825
H	6.71	0.220	1.475
I	2.86	0.210	0.601
A2	3.76	0.190	0.714
B2	0.69	0.210	0.145
C2	1.31	0.250	0.326
D2	3.13	0.275	0.861
E2	4.11	0.290	1.192
F2	5.65	0.340	1.922
G2	4.37	0.200	0.874
H2	6.68	0.210	1.403
Total (mm.c.a)			15.106

Fuente: elaboración propia

5.2.2 Pérdida por codos. Este tipo de pérdida se expresa en términos de la longitud equivalente; es decir, la longitud del codo tomada de forma lineal. Para hacer el cálculo de esta pérdida se utiliza la tabla 17, donde se relaciona la relación de lados del ducto (W/D), con el radio de curvatura (R/D).

Tabla 17. Cálculo de pérdidas en codos Manual de Carrier

Codo de radio de sección rectangular		R/D				
		0,5	0,75	1,00	1,25	1,50
		Relación L/D				
0,5	33	14	9	5	4	
1	45	18	11	7	4	
3	80	30	14	8	5	
6	125	40	18	12	7	

Fuente: CARRIER. Manual de aire acondicionado. Barcelona: Marcombo. 2-46p. ISBN 84-267-0115-9

La relación de lados (W/D) es la división entre el lado vertical (W) con el lado horizontal del ducto (D). La relación de curvatura (R/D) relaciona el radio del codo R con el lado horizontal del ducto.

La relación de curvatura recomienda por Carrier es de 1.25, sin embargo, por restricción de diseño en el tramo A se tomó una relación de 0,75.

Para el ejemplo del tramo A, se conocen los siguientes valores:

$$W/D: 450/500 = 0,9$$

$$R/D: 0,75$$

La relación (L/D) se calcula interpolando los valores señalados en la tabla 17, obteniendo un valor de 17,2.

Luego de conocer la relación L/D se despeja L, siendo la longitud equivalente, ese valor se multiplica por el valor de la pérdida por rozamiento, y resultado es la pérdida total por el codo.

En la tabla 18 se presenta el total de pérdidas para los codos del sistema.

Tabla 18. Pérdidas por rozamiento en codos

Sección	# Codos	Relación R/D	Relación W/D	Relación L/D	Cara D (m)	Longitud (m)	Pérdida (mm.c.a)	Pérdida por Codo (mm.c.a)
A	1	0.75	0.90	17.20	0.55	9.46	0.160	1.514
G	1	1.25	0.60	5.40	0.25	1.35	0.325	0.439
H	1	1.25	0.50	5.00	0.30	1.50	0.220	0.330
A2	1	1.25	0.66	5.66	0.45	2.55	0.190	0.484
F2	1	1.25	0.60	5.40	0.25	1.35	0.340	0.459
H2	3	1.25	0.60	5.40	0.25	1.35	0.210	0.851
							Total (mm.c.a)	4.076

Fuente: elaboración propia

5.2.3 Pérdida por reducción. En este caso es necesario establecer la pendiente que tendrá la reducción, se escogió una pendiente de 25° debido a que al tener un menor ángulo el fluido va a tener un direccionamiento más suave y es la recomendada por el manual de Carrier; de acuerdo a esto en la figura 16 extraída del Manual de Carrier se muestra la formula con la cual se debe calcular la pérdida.

Figura 16. Cálculo de pérdidas por reducción Manual de Carrier

Contracción		30°	45°	60°
a		30°	45°	60°
n		0,311 ****	0,317	0,326
Pérdida p. e. = $n(hv_2 - hv_1)$		**** Pendiente 25 %		

Fuente: CARRIER. Manual de aire acondicionado. Barcelona: Marcombo. 2-47p. ISBN 84-267-0115-9

Con base en la figura anterior y conociendo la velocidad de entrada de aire en la reducción por medio de la ecuación de continuidad se calcula la velocidad a la cual sale el aire, en este caso al ser el aire un fluido compresible se haría necesario el uso de la densidad del aire antes y después de la reducción, pero al no haber una compresión ni un aumento de temperatura debido a que la rejilla está inmediatamente después de la reducción para regular el sistema y conducir el aire, en este caso la densidad se puede despreciar porque va a ser la misma antes y después de la reducción.

Después de conocer la velocidad del aire a la entrada y a la salida de la reducción se procede a hallar la presión dinámica generada a la entrada y la salida de la reducción usando la siguiente tabla en la cual se relaciona la velocidad directamente con la presión, en el caso de la reducción entre las secciones A y B la velocidad de entrada es de 9.91 m/s y esta corresponde a una presión de 6.14 mm.c.a y la velocidad de salida es de 10.92 m/s que corresponde a una presión de 7.45 mm.c.a. En el caso de no estar el valor exacto de la velocidad se hace una interpolación entre el valor superior e inferior más cercano que se encuentre en la tabla 19.

La relación entre la velocidad y la presión de cada reducción se muestra en la tabla 20.

Tabla 19. Presiones dinámicas Manual de Carrier

PRESIÓN DINÁMICA (mm c. a.)	VELOCIDAD (m/s)	PRESIÓN DINÁMICA (mm c. a.)	VELOCIDAD (m/s)	PRESIÓN DINÁMICA (mm c. a.)	VELOCIDAD (m/s)	PRESIÓN DINÁMICA (mm c. a.)	VELOCIDAD (m/s)
4,25	8,24	12,75	14,28	21,25	18,43	44	26,53
4,50	8,48	13	14,42	21,50	18,54	45	26,83
4,75	8,71	13,25	14,56	21,75	18,65	46	27,12
5	8,94	13,50	14,69	22	18,75	47	27,42
5,25	9,16	13,75	14,83	22,25	18,86	48	27,71
5,50	9,38	14	14,98	22,50	18,97	49	28
5,75	9,60	14,25	15,09	22,75	19,07	50	28,28
6	9,79	14,50	15,23	23	19,18	51	28,56
6,25	10	14,75	15,36	23,25	19,28	52	28,84
6,50	10,19	15	15,49	23,50	19,39	53	29,12
6,75	10,39	15,25	15,62	23,75	19,49	54	29,39
7	10,58	15,50	15,74	24	19,59	55	29,66
7,25	10,77	15,75	15,87	24,25	19,69	56	29,93
7,50	10,96	16	16	24,50	19,79	57	30,19
7,75	11,13	16,25	16,12	24,75	19,89	58	30,46
8	11,31	16,50	16,24	25	20	59	30,72
8,25	11,48	16,75	16,37	26	20,39	60	30,98
8,50	11,66	17	16,49	27	20,78		

Fuente: CARRIER. Manual de aire acondicionado. Barcelona: Marcombo. 2-43p. ISBN 84-267-0115-9

Conociendo la presión dinámica en cada punto y usando la fórmula presentada en la figura 16 se hace la siguiente tabla en la cual se muestra el valor de la pérdida por cada reducción.

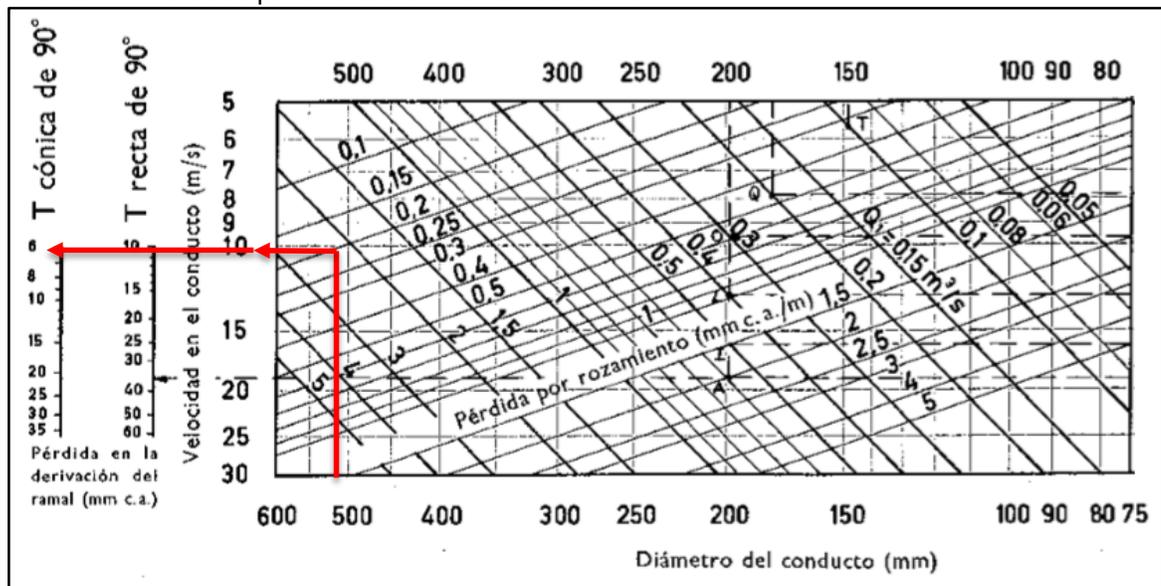
Tabla 20. Pérdidas por reducción

Sección	Pendiente	n	Velocidad 1 (m/s)	Presión Dinámica 1 (mm.c.a)	Área 1 (m ²)	Área 2 (m ²)	Velocidad 2 (m/s)	Presión Dinámica 2 (mm.c.a)	Pérdida (mm.c.a)
A-B	25°	0.311	9.91	6.14	0.216	0.196	10.92	7.45	0.41
D-E	25°	0.311	9.97	6.21	0.071	0.057	12.42	9.64	1.07
E-F	25°	0.311	10.39	6.75	0.057	0.048	12.34	9.52	0.86
F-G	25°	0.311	9.92	6.15	0.048	0.036	13.22	10.93	1.49
C-H	25°	0.311	9.85	6.07	0.071	0.042	16.65	17.34	3.50
H-I	25°	0.311	8.00	4.00	0.042	0.036	9.33	5.44	0.45
A2-B2	25°	0.311	8.88	4.93	0.115	0.103	9.92	6.15	0.38
B2-C2	25°	0.311	9.48	5.62	0.103	0.067	14.58	13.28	2.38
C2-D2	25°	0.311	9.23	5.33	0.067	0.057	10.85	7.36	0.63
D2-E2	25°	0.311	10.06	6.33	0.057	0.048	11.95	8.92	0.81
E2-F2	25°	0.311	9.72	5.91	0.048	0.036	12.96	10.5	1.43
B2-G2	25°	0.311	9.48	5.62	0.075	0.048	14.81	13.71	2.52
G2-H2	25°	0.311	7.46	3.48	0.048	0.036	9.95	6.19	0.84
Total (mm.c.a)									16.76

Fuente: elaboración propia

5.2.4 Pérdidas por bifurcación o “T”. Para hallarlas es necesario conocer la velocidad del fluido y el diámetro del ducto, con esa información se entra al gráfico 23 y se conoce el valor de la pérdida. Para el tramo A se tiene una velocidad de 10m/s y un diametro de 526mm.

Gráfico 24. Pérdidas por bifurcación Manual de Carrier



Fuente: CARRIER. Manual de aire acondicionado. Barcelona: Marcombo. 2-60p. ISBN 84-267-0115-9

Las pérdidas por bifurcación para todo el sistema se muestran en la tabla 21.

Tabla 21. Pérdidas por bifurcación

Sección	Velocidad de Entrada (m/s)	Perdida (mm.c.a)
B-A2-C	10	6
C-D-H	10	6
B2-C2-G2	10	6
Total (mm.c.a)		18

Fuente: elaboración propia

5.2.5 Selección de filtros: La selección de filtros hace parte del cálculo de pérdidas debido a que estos generan pérdidas en el sistema.

Para la selección de filtros se tomó como referencia el RITE, reglamento ya usado anteriormente para definir la cantidad de caudal necesario por persona dentro de un espacio. Este reglamento establece que se debe introducir el aire del exterior debidamente filtrado.

Dentro de este reglamento se establece que la selección del filtro dependerá de la calidad de aire interior requerida mencionada anteriormente (IDA 2 en este caso) y de la calidad de aire exterior ODA.

La calidad de aire exterior ODA se clasifica en las siguientes tres categorías:

ODA 1: Esta clasificación se usa cuando el aire exterior es puro y se ensucia solo temporalmente.

ODA 2: Esta clasificación se usa en condiciones de aire exterior con concentraciones altas de partículas y/o gases contaminantes.

ODA 3: Esta última clasificación aplica en condiciones en las que las concentraciones de gases contaminantes y/o de partículas son muy altas.

De acuerdo a lo anterior por la ubicación del edificio y las mediciones realizadas previamente y mostradas en capítulos anteriores se clasifica la calidad de aire exterior como ODA 2.

Para la selección de filtros se usó la tabla 22, en la cual relacionando la calidad de aire exterior que para este caso es ODA 2 y la calidad de aire interior que se clasificó como IDA 2 se obtiene como resultado que es necesario aplicar filtros F6 y F8 en el sistema.

Tabla 22. Tipo de filtro dependiendo de la calidad de aire exterior RITE

Calidad del aire exterior	Calidad del aire interior			
	IDA 1	IDA 2	IDA 3	IDA 4
ODA 1	F9	F8	F7	F5
ODA 2	F7 + F9	F6 + F8	F5 + F7	F5 + F6
ODA 3	F7+GF (*)+F9	F7+GF+F9	F5 + F7	F5 + F6

Fuente: REGLAMENTO DE INSTALACIONES TERMICAS EN LOS EDIFICIOS. Madrid. RITE, 2013. P. 48

Las pérdidas generadas por este tipo de filtros son de 25.4 mm.c.a, este valor fue brindado por el proveedor SODECA, siendo fabricante reconocido de ventiladores.

Teniendo en cuenta todas las pérdidas mencionadas anteriormente se hace una sumatoria de las mismas y se obtienen unas pérdidas totales en el sistema de 79.34 mm.c.a como se muestra en la tabla 23.

Tabla 23. Pérdidas totales en el sistema

PERDIDAS TOTALES	
Perdidas por Rozamiento	15.11
Perdidas por Codo	4.08
Perdidas por Reducción	16.76
Perdidas por T	18.00
Perdidas por Filtros	25.40
Perdidas Totales (mm.c.a)	79.34

Fuente: elaboración propia.

5.3 SELECCIÓN DEL VENTILADOR

Para hacer la selección del ventilador es necesario hacer el cálculo de cargas térmicas para determinar la cantidad de calor que retira el caudal inyectado de cada espacio.

5.3.1 Cálculo de cargas térmicas. Debido a la inyección de aire por el sistema de ventilación mecánica se está retirando calor de los espacios de forma involuntaria, por esta razón se hizo necesario realizar un cálculo de cargas térmicas para verificar si el caudal de aire inyectado en cada espacio retiraba la totalidad de las cargas térmicas presentes en los mismos. Este cálculo se realizó para un día en el que el edificio se encuentre con la mayor cantidad de personas admisibles en su interior.

Para conocer el valor total de las cargas térmicas en cada espacio es necesario calcular las cargas térmicas internas y las cargas térmicas externas. Para el cálculo de las mismas se empleó el “ASHRAE Handbook Fundamentals 1989”, que en su capítulo 26 muestra los procedimientos para hallar el valor de cada carga y al final poderlos sumar para encontrar una carga total en cada área.

Las cargas térmicas internas hacen referencia al calor generado por los ocupantes de los espacios, el calor generado por la iluminación y los equipos presentes en los espacios.

Como primera medida se calculó el calor generado por las personas, este se divide en calor sensible, que es el calor generado en forma de temperatura y se calcula de la siguiente forma.

Ecuación 7. Carga sensible

$$q_{Sensible} = N(Calor\ Sensible)(CLF)$$

Fuente: ASHRAE. Handbook Fundamentals. Atlanta. ASHRAE, 1989. p. 26.33. ISBN 0-910110-57-3

Donde

N= Número de personas que ocupan el espacio

Calor Sensible= Calor generado por cada persona

CLF= Factor de carga de enfriamiento por horas de servicio del espacio

Y en calor latente, que es el calor generado en forma de humedad. Este se calcula de la siguiente forma.

Ecuación 8. Carga latente

$$q_{Latente} = N(Calor\ Latente)$$

Fuente: ASHRAE. Handbook Fundamentals. Atlanta. ASHRAE, 1989. p. 26.33. ISBN 0-910110-57-3

El calor sensible y latente generado por las personas depende de la actividad que se encuentren realizando los ocupantes al interior de cada espacio.

Tabla 24. Calor producido por las personas en un espacio de acuerdo a su actividad

Degree of Activity	Typical Application	Total Heat Adults, Male, W	Total Heat Adjusted, ^d W	Sensible Heat, W	Latent Heat, W
Seated at theater	Theater—Matinee	115	95	65	30
Seated at theater	Theater—Evening	115	105	70	30
Seated, very light work	Offices, hotels, apartments	130	115	70	45
Moderately active office work	Offices, hotels, apartments	140	130	75	55
Standing, light work; walking	Department store, retail store	160	130	75	55
Walking; standing	Drug store, bank	160	145	75	70
Sedentary work	Restaurant ^c	145	160	80	80
Light bench work	Factory	235	220	80	140
Moderate dancing	Dance hall	265	250	90	160
Walking 1.3 m/s; light machine work	Factory	295	295	110	185
Bowling ^d	Bowling alley	440	425	170	255
Heavy work	Factory	440	425	170	255
Heavy machine work; lifting	Factory	470	470	185	285
Athletics	Gymnasium	585	525	210	315

Fuente: ASHRAE. Handbook Fundamentals. Atlanta. ASHRAE, 1989. p. 26.7. ISBN 0-910110-57-3

Para el espacio de la recepción las cargas térmicas generadas por las personas tuvieron el siguiente valor.

Tabla 25. Cargas internas por personas

Personas	Cantidad	Q Sensible (W)	Fact Carga Enfriam (CLF)	Q Latente (W)	Qsen Total (W)	Qlat Total (W)
Personas	2	70	0.69	45	96.6	90
Q Total (W)	186.6					

Fuente: elaboración propia.

Después de conocer el valor de las cargas internas generadas por las personas dentro de los espacios se hallaron las cargas térmicas generadas por la iluminación en cada espacio. Estas cargas se calcularon usando la siguiente formula.

Ecuación 9. Carga por iluminación

$$q_{Lights} = N(Input)(CLF)$$

Fuente: ASHRAE. Handbook Fundamentals. Atlanta. ASHRAE, 1989. p. 26.33. ISBN 0-910110-57-3

Donde

N= Cantidad de bombillos

Input= Potencia en Watts de los bombillos

CLF= Factor de carga de enfriamiento teniendo en cuenta el tiempo que duran las luces encendidas.

Para calcular el valor del CLF es necesario conocer los valores de “a” y de “b”. Al remitirse a la siguiente tabla, se encuentra el valor “a”, que depende de la cantidad

y la forma de muebles, el aire que circula y las luces que hay en el interior de cada espacio.

Tabla 26. Valores para "a", cargas por iluminación

<i>a</i>	Furnishings	Air Supply and Return	Type of Light Fixture
0.45	Heavyweight, simple furnishings, no carpet	Low rate; supply and return below ceiling ($V < 2.5$) ^a	Recessed, not vented
0.55	Ordinary furniture, no carpet	Medium to high ventilation rate; supply and return below ceiling or through ceiling grill and space ($V \geq 2.5$) ^a	Recessed, not vented
0.65	Ordinary furniture, with or without carpet	Medium to high ventilation rate or fan coil or induction type air-conditioning terminal unit; supply through ceiling or wall diffuser; return around light fixtures and through ceiling space. ($V \geq 2.5$) ^a	Vented
0.75 or greater	Any type of furniture	Ducted returns through light fixtures	Vented or free-hanging in air stream with ducted returns

Fuente: ASHRAE. Handbook Fundamentals. Atlanta. ASHRAE, 1989. p. 26.44. ISBN 0-910110-57-3

Para conocer el valor de "b", de la construcción de la habitación, que se determina conociendo el espesor de los muros y de la circulación de aire dentro de la misma. Usando la siguiente tabla se determinó ese valor.

Tabla 27. Valores para "b", cargas por iluminación

Room Envelope Construction ^a (mass of floor area, kg/m ²)	Room Air Circulation and Type of Supply and Return ^b			
	Low	Medium	High	Very High
50-mm Wood Floor (50)	B	A	A	A
75-mm Concrete Floor (200)	B	B	B	A
150-mm Concrete Floor (370)	C	C	C	B
200-mm Concrete Floor (590)	D	D	C	C
300-mm Concrete Floor (780)	D	D	D	D

Fuente: ASHRAE. Handbook Fundamentals. Atlanta. ASHRAE, 1989. p. 26.44. ISBN 0-910110-57-3

Conociendo los valores para “a” y “b” se busca el valor del CLF en la siguiente tabla.

Tabla 28. Factor de carga de enfriamiento para cargas por iluminación

"a" Coef- ficients	"b" Class- ification	Number of hours after lights are turned on																							
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0.45	A	0.02	0.46	0.57	0.65	0.72	0.77	0.82	0.85	0.88	0.46	0.37	0.30	0.24	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02
	B	0.07	0.51	0.56	0.61	0.65	0.68	0.71	0.74	0.77	0.34	0.31	0.28	0.25	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08
	C	0.11	0.55	0.58	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.38	0.36	0.25	0.23	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12
	D	0.14	0.58	0.60	0.61	0.62	0.63	0.64	0.65	0.66	0.22	0.22	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.17	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15
0.55	A	0.01	0.56	0.65	0.72	0.77	0.82	0.85	0.88	0.90	0.37	0.30	0.24	0.19	0.16	0.13	0.10	0.08	0.07	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
	B	0.06	0.60	0.64	0.68	0.71	0.74	0.76	0.79	0.81	0.28	0.25	0.23	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06
	C	0.09	0.63	0.66	0.68	0.70	0.71	0.73	0.75	0.76	0.23	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10
	D	0.11	0.66	0.67	0.68	0.69	0.70	0.71	0.72	0.72	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12
0.65	A	0.01	0.66	0.73	0.78	0.82	0.86	0.88	0.91	0.93	0.29	0.23	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01
	B	0.04	0.69	0.72	0.75	0.77	0.80	0.82	0.84	0.85	0.22	0.19	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05
	C	0.07	0.72	0.73	0.75	0.76	0.78	0.79	0.80	0.82	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07
	D	0.09	0.73	0.74	0.75	0.76	0.77	0.77	0.78	0.79	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09
0.75	A	0.01	0.76	0.80	0.84	0.87	0.90	0.92	0.93	0.95	0.21	0.17	0.13	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
	B	0.03	0.78	0.80	0.82	0.84	0.85	0.87	0.88	0.89	0.15	0.14	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04
	C	0.05	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.13	0.12	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05
	D	0.06	0.81	0.82	0.82	0.83	0.83	0.84	0.84	0.85	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07

Fuente: ASHRAE. Handbook Fundamentals. Atlanta. ASHRAE, 1989. p. 26.45. ISBN 0-910110-57-3

El valor de las cargas térmicas generadas por la iluminación para la recepción fue el siguiente.

Tabla 29. Cargas internas por iluminación

Iluminación	Cantidad	Potencia (W)	Fact Carga Enfriam (CLF)	Factor A	Factor B
Iluminación	2	24	0.22	0.45	D
Q Total (W)	10.56				

Fuente: elaboración propia

Por último, para conocer el valor total de las cargas térmicas internas se calcularon las cargas generadas por los equipos al interior de los espacios. Estas cargas se calculan usando la siguiente formula.

Ecuación 10. Carga por equipos

$$Q_{Equipos} = N(\text{Heat Gain})(CLF)$$

Fuente: ASHRAE. Handbook Fundamentals. Atlanta. ASHRAE, 1989. p. 26.33. ISBN 0-910110-57-3

Donde

N= Cantidad de equipos

Heat Gain= Calor sensible generado por el equipo (este se conoce de acuerdo a la potencia del mismo)

CLF= Factor de carga de enfriamiento teniendo en cuenta las horas de uso el quipo.

Esta fórmula se aplica para cada equipo que se encuentra dentro del espacio y sumando el calor generado por cada uno se encuentra el total de la carga generada por los equipos.

Para encontrar el Heat Gain se buscó en cada equipo su potencia y el valor del CLF se encontró en la siguiente tabla, en la cual era necesario conocer el total de horas en las que el equipo está en uso y el total de horas que dura el equipo en ser usado de nuevo desde que es apagado

Tabla 30. Factor de carga de enfriamiento para cargas por equipos

Total Operational Hours	Hours after appliances are on																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
2	0.27	0.40	0.25	0.18	0.14	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	
4	0.28	0.41	0.51	0.59	0.39	0.30	0.24	0.19	0.16	0.14	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	
6	0.29	0.42	0.52	0.59	0.65	0.70	0.48	0.37	0.30	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	
8	0.31	0.44	0.54	0.61	0.68	0.71	0.72	0.72	0.72	0.62	0.52	0.44	0.35	0.25	0.22	0.19	0.16	0.14	0.13	0.11	0.10	0.08	0.07	0.06	0.06
10	0.33	0.46	0.55	0.62	0.68	0.72	0.76	0.79	0.81	0.84	0.60	0.48	0.39	0.33	0.28	0.24	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.08
12	0.35	0.49	0.58	0.64	0.69	0.74	0.77	0.80	0.82	0.85	0.87	0.88	0.64	0.51	0.42	0.36	0.31	0.26	0.23	0.20	0.18	0.15	0.13	0.12	0.12
14	0.40	0.52	0.61	0.67	0.72	0.76	0.79	0.82	0.84	0.86	0.88	0.89	0.91	0.92	0.67	0.54	0.45	0.38	0.32	0.28	0.24	0.21	0.19	0.16	0.16
16	0.43	0.57	0.65	0.70	0.75	0.78	0.81	0.84	0.86	0.87	0.89	0.90	0.92	0.93	0.94	0.94	0.69	0.56	0.46	0.39	0.34	0.29	0.25	0.22	0.22
18	0.52	0.63	0.70	0.75	0.79	0.82	0.84	0.86	0.88	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.96	0.71	0.58	0.48	0.41	0.35	0.30	0.30

Fuente: ASHRAE. Handbook Fundamentals. Atlanta. ASHRAE, 1989. p. 26.44. ISBN 0-910110-57-3

Conociendo el Heat Gain y el CLF se hace la sumatoria del calor generado por cada equipo, para el caso de la recepción la carga térmica generada por los equipos es la siguiente.

Tabla 31. Cargas internas por equipos

Equipos	Cantidad	Q Sencible (W)	Fact Carga Enfriam (CLF)	Qsen Total (W)
CPU PC	1	200	0.48	96
Impresora	1	673	0.48	323.04
Telefono	1	4.5	0.48	2.16
Pantallas	2	15.2	0.48	14.592
Citofonos	2	5	0.48	4.8
Calefactor	1	400	0.48	192
Estabilizadores	2	450	0.48	432
Q Total (W)		1064.592		

Fuente: elaboración propia

Habiendo tomado como ejemplo el espacio de la recepción y conociendo el valor de los componentes de sus cargas internas se determinó que estas tienen un valor de:

Ecuación 11. Resultado
cargas térmicas internas

$$q_{Internas} = 1261,752 W$$

Fuente: elaboración propia

Después de encontrar las cargas internas se procedió al cálculo de las cargas térmicas externas presentes en cada espacio, estas cargas se presentan por la radiación, la cual tiene un paso a través de los vidrios y por conducción, que se da a través de los muros y los vidrios.

Para el cálculo de las cargas por radiación se utilizó la siguiente formula.

Ecuación 12. Cargas por radiación

$$q_{Solar} = (A)(SC)(SHGF)(CLF)$$

Fuente: ASHRAE. Handbook Fundamentals.
Atlanta. ASHRAE, 1989. p. 26.33. ISBN 0-
910110-57-3

Donde

A= Área del vidrio

SC= Coeficiente de sombra

SHGF= Ganancia solar máxima

CLF= Factor de carga de enfriamiento teniendo en cuenta el factor de sombra presente en el espacio.

Para encontrar el área de cada vidrio se tomó el alto y el ancho de cada uno, conociendo esto se sumaron las áreas de todos los vidrios presentes en el espacio siempre y cuando estuvieran en la misma orientación para poderlos analizar de la misma forma.

El coeficiente de sombra se determinó mediante la siguiente tabla, en la cual se relacionan la opacidad del vidrio y su espesor.

Tabla 32. Coeficiente de sombra, cargas externas por radiación

A. Single Glass				
Type of Glass	Nominal Thickness ^b	Solar Trans. ^b	Shading Coefficient	
			$h_o = 22.7$	$h_o = 7.0$
Clear	3 mm	0.86	1.00	1.00
	6 mm	0.78	0.94	0.95
	10 mm	0.72	0.90	0.92
	13 mm	0.67	0.87	0.88
Heat Absorbing	3 mm	0.64	0.83	0.85
	6 mm	0.46	0.69	0.73
	10 mm	0.33	0.60	0.64
	13 mm	0.24	0.53	0.58

B. Insulating Glass				
Clear Out, Clear In	3 mm ^c	0.71 ^e	0.88	0.88
Clear Out, Clear In	6 mm	0.61	0.81	0.82
Heat Absorbing ^d Out, Clear In	6 mm	0.36	0.55	0.58

Fuente: ASHRAE. Handbook Fundamentals. Atlanta. ASHRAE, 1989. p. 27.26. ISBN 0-910110-57-3

Para hallar el valor de la ganancia solar máxima es necesario conocer la latitud en la cual se encuentra el edificio para con base en esto usar la tabla correcta, conociendo esto se escoge el mes con mayor ganancia solar por lo descrito anteriormente y por último se cruza con la orientación que tiene la ventana. El valor se encontró en la siguiente tabla.

Tabla 33. Ganancia solar por ubicación
4°N Lat

	N	NNE/ NNW	NE NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SSE/ SSW	S	HOR
Jan.	104	104	249	536	722	795	514	609	445	902
Feb.	110	110	388	628	764	782	678	480	278	550
Mar.	120	243	514	691	764	716	558	303	136	953
Apr.	174	394	596	704	704	599	398	136	120	905
May	293	486	631	694	650	508	281	120	120	858
June	347	517	637	678	618	464	230	120	120	830
July	303	486	622	678	631	492	268	123	120	842
Aug.	186	391	581	678	675	571	379	133	126	880
Sep.	123	237	492	659	729	681	536	293	139	924
Oct.	114	114	379	609	738	754	653	467	271	928
Nov.	107	107	249	530	713	782	732	599	439	896
Dec.	104	104	196	495	697	789	764	650	505	874

Fuente: ASHRAE. Handbook Fundamentals. Atlanta. ASHRAE, 1989. p. 26.39. ISBN 0-910110-57-3

Por último, para encontrar el valor del CLF se usa la siguiente tabla, la cual tiene en cuenta la orientación del vidrio y la forma de construcción de la casa, esta se clasifica en L, que significa construcción liviana y hace referencia a muros de 50 mm de espesor, M significa construcción mediana y hace referencia a muros de 100 mm de espesor y H que hace referencia a construcción pesada y hace referencia a muros de 150 mm de espesor. Para el análisis del CLF por radiación de todos los muros de ACAIRE se tomaron muros de construcción pesada. Por último, la tabla

relaciona las horas del día en las que el sol está presente, se tomaron como 12 horas.

Tabla 34. Factor de carga de enfriamiento para cargas por radiación

Fenestration Facing	Room Construction	Solar Time, h																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N (Shaded)	L	0.17	0.14	0.11	0.09	0.08	0.33	0.42	0.48	0.56	0.63	0.71	0.76	0.80	0.82	0.82	0.79	0.75	0.64	0.61	0.48	0.38	0.31	0.25	0.20
	M	0.23	0.20	0.18	0.16	0.14	0.34	0.41	0.46	0.53	0.59	0.65	0.70	0.73	0.75	0.76	0.74	0.75	0.79	0.61	0.50	0.42	0.36	0.31	0.27
	H	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19	0.38	0.45	0.49	0.55	0.60	0.65	0.69	0.72	0.72	0.72	0.70	0.70	0.75	0.57	0.46	0.39	0.34	0.31	0.28
NNE	L	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.26	0.43	0.47	0.44	0.41	0.40	0.39	0.39	0.38	0.36	0.33	0.30	0.26	0.20	0.16	0.13	0.10	0.08	0.07
	M	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.24	0.38	0.42	0.39	0.37	0.37	0.36	0.36	0.36	0.34	0.33	0.30	0.27	0.22	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10
	H	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.26	0.39	0.42	0.39	0.36	0.35	0.34	0.34	0.33	0.32	0.31	0.28	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12
NE	L	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.23	0.41	0.51	0.51	0.45	0.39	0.36	0.33	0.31	0.28	0.26	0.23	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05
	M	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.31	0.36	0.44	0.45	0.40	0.36	0.33	0.31	0.30	0.28	0.26	0.23	0.21	0.17	0.15	0.13	0.11	0.09	0.08
	H	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.23	0.37	0.44	0.44	0.39	0.34	0.31	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.20	0.17	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10

L = Light construction: frame exterior wall, 50-mm, approximate mass per unit of floor area = 146 kg/m².
M = Medium construction: 100-mm concrete exterior wall, 100-mm concrete floor slab, approximate mass per unit of floor area = 340 kg/m².
H = Heavy construction: 150-mm concrete exterior wall, 150-mm concrete floor slab, approximate mass per unit area of floor = 600 kg/m².

Fuente: ASHRAE. Handbook Fundamentals. Atlanta. ASHRAE, 1989. p. 26.41. ISBN 0-910110-57-3

Teniendo los valores anteriores y continuando con el espacio de la recepción como ejemplo para poder hallar las cargas térmicas totales en su interior, se encuentra que las cargas por radiación en este espacio son.

Tabla 35. Cargas externas por radiación

Radiación	Factor de Sombra (SC)	Ganancia Máxima Calor (SHGF)(W/m ²)	Factor Carga Enfriamiento (CLF)	Área (m ²)	Largo (m)	Altura (m)
Radiación	0.83	637	0.31	4.9395	2.67	1.85
Q Total (W)	809.584544					

Fuente: elaboración propia

Para el cálculo de las cargas térmicas por conducción hay que tener en cuenta que estas se dan a partir de los vidrios y las paredes que estén expuestas al sol. Para encontrar las cargas térmicas por conducción presentadas en las paredes se usó la siguiente formula.

Ecuación 13. Cargas por conducción en paredes

$$q_{Walls} = (U)(A)(CLTD)$$

Fuente: ASHRAE. Handbook Fundamentals. Atlanta. ASHRAE, 1989. p. 26.33. ISBN 0-910110-57-3

Donde

U= Coeficiente de transferencia de calor de la pared

A= Área de la pared

CLTD= Carga de enfriamiento por diferencial de temperatura.

Para hallar el valor del U de la pared es necesario conocer en cual clasificación se encuentra la misma, como se expresó anteriormente estas son de construcción pesada, teniendo en cuenta esto y conociendo que son paredes que cuentan con terminados y acabados se busca dentro de este grupo el espesor de pared y con esto en la siguiente tabla se muestra el valor del coeficiente.

Tabla 36. Coeficiente de transferencia de calor de paredes

Group No.	Description of Construction	Mass, kg/m ²	U-Value, W/(m ² .°C)	Code Numbers of Layers (see Table 26)
100-mm Face brick + (brick)				
C	Air space + 100-mm face brick	405	2.03	A0, A2, B1, A2, E0
D	100-mm common brick	440	2.36	A0, A2, C4, E1, E0
C	25-mm insulation or air space + 100-mm common brick	440	1.00-1.71	A0, A2, C4, B1/B2, E1, E0
B	50-mm insulation + 100-mm common brick	430	0.63	A0, A2, B3, C4, E1, E0
B	200-mm common brick	635	1.71	A0, A2, C9, E1, E0
A	Insulation or air space + 200-mm common brick	635	0.87-1.38	A0, A2, C9, B1/B2, E1, E0
100-mm Face brick + (heavyweight concrete)				
C	Air space + 50-mm concrete	459	2.00	A0, A2, B1, C5, E1, E0
B	50-mm insulation + 100-mm concrete	474	0.66	A0, A2, B3, C5, E1, E0
A	Air space or insulation + 200-mm or more concrete	698-928	0.62-0.64	A0, A2, B1, C10/11, E1, E0
Light and heavyweight concrete block + (finish)				
F	100-mm block + air space/insulation	142	0.91-1.49	A0, A1, C2, B1/B2, E1, E0
E	50-mm insulation + 100-mm block	142-181	0.60-0.65	A0, A1, B3, C2/C3, E1, E0
E	200-mm block	229-249	1.67-2.28	A0, A1, C7/C8, E1, E0
D	200-mm block + air space/insulation	200-278	0.85-0.98	A0, A1, C7/C8, B1/B2, E1, E0
Metal curtain wall				
G	With/without air space + 25- to 75-mm insulation	24-29	0.52-1.31	A0, A3, B5/B6/B12, A3, E0
Frame wall				
G	25-mm to 75-mm insulation	78	0.46-1.01	A0, A1, B1, B2/B3/B4, E1, E0

Fuente: ASHRAE. Handbook Fundamentals. Atlanta. ASHRAE, 1989. p. 26.36. ISBN 0-910110-57-3

Dentro de la tabla anterior también se encuentra el grupo al que pertenece la pared, en este caso las paredes del edificio entran en la clasificación E. Conociendo esto en la siguiente tabla se encuentra el CLTD que también depende de la orientación de la pared y de la cantidad de horas que esta está expuesta a la luz solar.

Tabla 37. Factor de carga de enfriamiento para pargas por conducción en paredes

	Solar Time, h																								Hr of Maximum CLTD	Minimum CLTD	Maximum CLTD	Difference CLTD	
	0100	0200	0300	0400	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400					
Group E Walls																													
N	7	6	5	4	3	2	2	3	3	3	4	5	6	7	8	10	10	11	12	13	13	11	10	9	8	7	3	13	10
NE	7	6	5	4	3	2	3	5	8	11	13	14	14	14	14	15	14	14	13	12	11	9	8	16	2	3	15	13	18
E	8	7	6	5	4	3	3	6	10	15	18	20	21	21	20	19	18	18	17	15	14	12	11	9	13	3	21	18	18
SE	8	7	6	5	4	3	3	4	7	10	14	17	19	20	20	19	18	17	15	14	13	11	10	15	3	20	17	17	17
S	8	7	6	5	4	3	2	2	2	3	5	7	10	14	16	18	19	18	17	16	14	13	11	10	17	2	19	17	17
SW	12	10	8	7	6	4	4	3	3	3	4	5	7	10	14	18	21	24	25	24	22	19	17	14	19	3	25	22	22
W	14	12	10	8	6	5	4	3	3	4	4	5	6	8	11	15	20	24	27	27	25	22	19	16	20	3	27	24	24
NW	11	9	8	6	5	4	3	3	3	3	4	5	6	7	9	11	14	18	21	21	20	18	15	13	20	3	21	18	18

Fuente: ASHRAE. Handbook Fundamentals. Atlanta. ASHRAE, 1989. p. 26.37. ISBN 0-910110-57-3

Para encontrar las cargas térmicas por conducción presentadas en los vidrios se usó la siguiente formula.

Ecuación 14. Cargas por conducción en vidrios

$$q_{Conduction} = (U)(A)(CLTD)$$

Fuente: ASHRAE. Handbook Fundamentals. Atlanta. ASHRAE, 1989. p. 26.33. ISBN 0-910110-57-3

Donde

U= Coeficiente de transferencia de calor del vidrio

A= Área del vidrio

CLTD= Carga de enfriamiento por diferencial de temperatura.

El Valor de U para el vidrio depende del tipo y el espesor del mismo. Conociendo las variables anteriores dentro de la siguiente tabla se encuentra el valor del coeficiente de transferencia de calor para los vidrios.

Tabla 38. Coeficiente de transferencia de calor de vidrios

Glazing Type ^b	Glass Only		Aluminum Frame no thermal break ($U_f=10.8$)		Aluminum Frame thermal break ($U_f=5.7$)		Wood or Vinyl Frame ($U_f=2.3$)	
	Center of Glass	Edge ^c of Glass	Product ^d Type		Product ^d Type		Product ^d Type	
			R	C	R	C	R	C
Single glazing Glass	6.30	0.00	7.44	6.98	6.19	6.25	5.11	5.56
3 mm acrylic	5.85	0.00	7.15	6.59	5.79	5.85	4.77	5.22
Double glass								
6 mm airspace	3.24	3.75	5.22	4.43	3.97	3.69	3.07	3.12
9 mm airspace	2.95	3.52	5.00	4.20	3.75	3.41	2.84	2.90
13 mm and greater airspace	2.78	3.35	4.94	4.09	3.63	3.35	2.78	2.78
Double glass, $\epsilon = 0.40$ on surface 2 or 3								
6 mm airspace	2.84	3.41	4.94	4.15	3.69	3.35	2.78	2.84
9 mm airspace	2.44	3.12	4.71	3.80	3.41	3.07	2.56	2.56
13 mm and greater airspace	2.33	3.07	4.60	3.69	3.29	2.95	2.44	2.38
Double glass, $\epsilon = 0.15$ on surface 2 or 3								
6 mm airspace	2.56	3.18	4.77	3.86	3.46	3.12	2.61	2.61
9 mm airspace	2.04	2.90	4.43	3.52	3.18	2.73	2.33	2.21
13 mm airspace	1.93	2.84	4.32	3.41	3.07	2.61	2.21	2.10
Double glass								
6 mm argon space	2.95	3.52	5.00	4.20	3.75	3.46	2.84	2.90
9 mm argon space	2.73	3.35	4.88	4.03	3.58	3.24	2.73	2.73
13 mm and greater argon space	2.61	3.24	4.66	3.92	3.52	3.18	2.67	2.67

Fuente: ASHRAE. Handbook Fundamentals. Atlanta. ASHRAE, 1989. p. 27.16. ISBN 0-910110-57-3

Para hallar el CLTD del vidrio solo es necesario establecer la cantidad de horas en las cuales el vidrio está expuesto a la luz solar, en este caso se tomaron 12 horas. El valor del CLTD para este tiempo se encuentra en la siguiente tabla.

Tabla 39. Factor de carga de enfriamiento para pargas por conducción en vidrios

Solar time, h	CLTD °C	Solar time, h	CLTD °C
0100	1	1300	7
0200	0	1400	7
0300	-1	1500	8
0400	-1	1600	8
0500	-1	1700	7
0600	-1	1800	7
0700	-1	1900	6
0800	0	2000	4
0900	1	2100	3
1000	2	2200	2
1100	4	2300	2
1200	5	2400	1

Fuente: ASHRAE. Handbook Fundamentals. Atlanta. ASHRAE, 1989. p. 26.39. ISBN 0-910110-57-3

De acuerdo a lo anterior se hallaron las cargas por conducción para el espacio de la recepción con el fin de continuar con el ejemplo para hallar las cargas totales de esta área. Las cargas por conducción fueron las siguientes.

Tabla 40. Cargas externas por conducción

Conducción	Q (W)	Coficiente Transferencia Calor (U)(W/m ² °C)	Área (m ²)	Largo (m)	Alto (m)	Diferencia Temp Enfriam (CLTD)
Pared	293.37102	2.28	8.5781	4.88	2.77	15
Vidrio	155.59425	6.3	4.9395	-	-	5
Q Total (W)	448.96527					

Fuente: elaboración propia

Conociendo el valor de las cargas por radiación y las cargas por conducción presentes en la recepción se encuentra que las cargas térmicas externas totales en el espacio tienen un valor de:

Ecuación 15. Resultado cargas térmicas externas

$$Q_{\text{Externas}} = 1258,55 \text{ W}$$

Fuente: elaboración propia

Los cálculos presentados anteriormente se hacen utilizando las mismas formulas y las mismas tablas para cada espacio de ACAIRE, posteriormente se suman las cargas internas y externas y de esta forma se hallan las cargas totales en cada espacio, las cuales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 41. Cargas térmicas presentes en ACAIRE

CARGAS PRIMER PISO		
ÁREA	CARGA TOTAL ESPACIO	UNIDAD
Recepción	2520.30	W
Laboratorio	2921.63	W
Dirección Técnica	990.83	W
Archivo	1.80	W
Cocina	8288.47	W
CARGA TOTAL PISO 1	14723.03	W
CARGAS SEGUNDO PISO		
ÁREA	CARGA TOTAL ESPACIO	UNIDAD
Salón de Conferencia:	2973.40	W
Departamento de Cali	3117.07	W
Coordinación	1492.29	W
Contabilidad	1747.08	W
Dirección Ejecutiva	1766.16	W
CARGA TOTAL PISO 2	11096.00	W

Fuente: elaboración propia

Después de conocer las cargas en cada espacio se calcula el caudal necesario para retirar las cargas usando la ecuación de pérdida de calor sensible por infiltración de aire exterior tomada del libro Acondicionamiento Térmico en Edificios, debido a que esta fórmula relaciona el caudal con las cargas térmicas.

Ecuación 16. Cargas térmicas por infiltración

$$Q = (Ce)(V)(Pe)(Ti - Te)$$

Fuente: DÍAZ, Victorio Santiago.
 BARRENECHE, Raúl Oscar.
 Acondicionamiento térmico de edificios.
 Buenos Aires: Nobuko, 2005. 59p. ISBN 987-1135-94-7

Donde

Ce= Calor específico del aire a presión cte, "0.24 Kcal/Kg°C"⁸² = 1004,67 J/Kg°K

V= Caudal (m³/s)

Pe= peso específico del aire a la temperatura exterior "0.07496 Lb/Ft³"⁸³ =1,2 Kg/m³

Te= Temperatura de aire exterior 18°C o 291,15°K

⁸² WHITMAN, William C. JOHNSON, William M. Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado: Fundamentos. Madrid: Thomson paraninfo, 2006. 10p. ISBN 84-283-2657-6

⁸³ HERNÁNDEZ GORIBAR, Eduardo. Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración. México: Limusa, 2009. 34p. ISBN 978-968-18-0604-0

Ti= Temperatura interna 21°C o 294,15°K

Para encontrar el valor del caudal necesario para retirar las cargas térmicas se despeja V de la ecuación anterior, quedando de la siguiente forma.

Ecuación 17. Caudal necesario para disipar las cargas térmicas

$$V = \frac{Q}{(Ce)(Pe)(Ti - Te)}$$

Fuente: elaboración propia con base en ecuación 8

Aplicando la ecuación, se halla el caudal necesario para cada espacio y se compara con el caudal que la línea de inyección de aire está suministrando a los mismos. Para este caso Q se toma como las cargas térmicas producidas por el calor sensible, las cuales se hallan restándole a la carga total del espacio la carga latente producida por las personas debido a que esta carga no se transmite como temperatura si no como humedad para el ambiente.

Tabla 42. Caudal necesario para retirar las cargas térmicas

ESPACIO	CARGA DEL ESPACIO (W)	CAUDAL NECESARIO (m3/s)	CAUDAL SUMINISTRADO (m3/s)
Recepción	2430.30	0.672	0.360
Laboratorio	1521.63	0.421	0.348
Dirección Técnica	900.83	0.249	0.288
Archivo	1.80	0.000	0.048
Cocina	7968.47	2.203	0.074
Salón de Conferencias	2073.40	0.573	0.213
Departamento de Calidad	2937.07	0.812	0.090
Coordinación	1447.29	0.400	0.070
Contabilidad	1657.08	0.458	0.288
Dirección Ejecutiva	1721.16	0.476	0.360
CAUDAL TOTAL		6.265	2.140

Fuente: elaboración propia.

Como se muestra en la tabla anterior solo se retiraría el 34,15% de las cargas totales, por lo cual la variación de temperatura será mínima.

5.3.2 Selección del ventilador. Para la selección del ventilador se tuvieron en cuenta a las empresas SOLER & PALAU y SODECA ya que ambas cuentan con representación en Colombia, lo que facilita el proceso de compra en caso de que se quiera instalar y no se incurriría en sobre costos y en mayores tiempos de entrega por importación.

A pesar de que ambas empresas cuentan con unidades de ventilación, que son equipos que traen integradas las unidades de filtración, evitando así el diseño de un porta filtros y brindando una facilidad de instalación, se seleccionó como proveedor a la empresa SODECA debido a que ellos fabrican la caja de ventilación según la necesidad del cliente; Las unidades de ventilación de la empresa SOLER & PALAU eran capaces de manejar el caudal requerido pero no soportaban las pérdidas generadas por el sistema. Además de esto la empresa SODECA cuenta con unidades de calefacción que se pueden acoplar al sistema de inyección de aire, lo que permite controlar también la variable de temperatura que según los resultados presentados en capítulos anteriores a pesar de no estar en un punto crítico que requiera atención inmediata, si se encuentra muy cerca de estar fuera de los parámetros.

La selección del ventilador se hizo por medio del Software Quick Fan brindado por la empresa en el que se encuentra el catálogo de sus equipos, el cual solo requiere el caudal y las pérdidas con las que trabaja el sistema y establecer la altura en metros sobre el nivel del mar de la zona donde se encontrará el equipo en funcionamiento.

Figura 17. Selección de ventilador con software Quick Fan

The screenshot shows the SODECA Quick Fan software interface. At the top, there is a search bar with a magnifying glass icon, a language dropdown set to 'Español', a unit dropdown set to 'm³/s', and a pressure unit dropdown set to 'mmca'. The SODECA logo is visible in the top right corner. Below the search bar, the text 'Cortinas de Aire' is displayed. A button labeled 'Mostrar búsqueda múltiple' is present. The main section is titled 'Parámetros de selección' and contains the following fields:

- Punto Diseño:** Presión estática (dropdown menu)
- Q (m³/s):** 2,14 (input field)
- Pe (mmca):** 79,34 (input field)
- Presión calculada para 20°C 2600msnm 0,88kg/m³**
- Densidad Aire:** Temp. y Altura (dropdown menu)
- Valor (kg/m³):** 0,88 (input field)
- Temperatura (°C):** 20 (input field)
- Altura Nivel Mar (msnm):** 2600 (input field) and msnm (dropdown menu)
- Temp. máx. de aire transportado (°C):** 20 (input field)
- Núm. máx. resultados:** 10 (input field)

At the bottom of the form, there are two buttons: 'Inicializar búsqueda' and 'Buscar modelos'. Below the buttons, the text 'Búsqueda completada' is displayed.

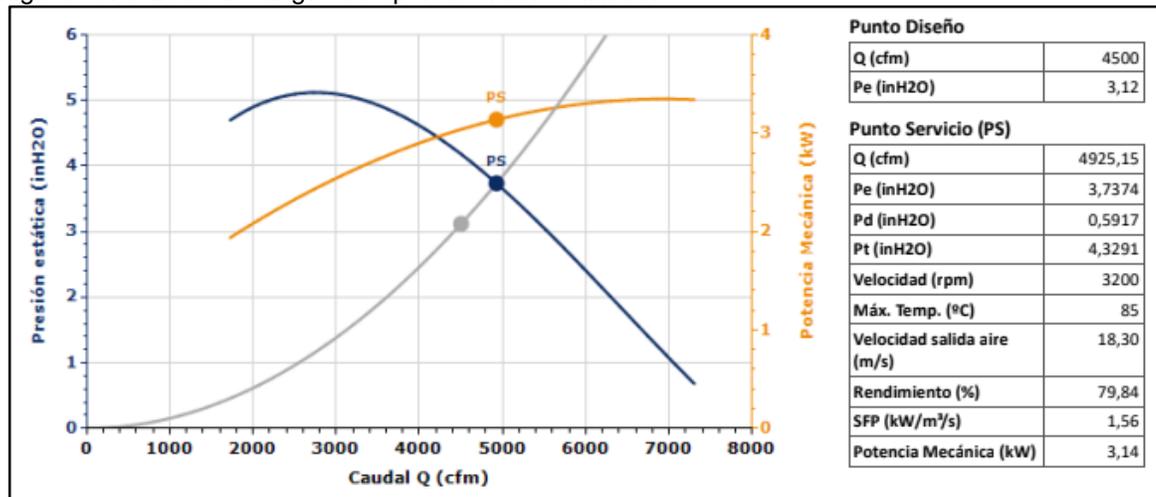
Fuente: elaboración propia, con base en. Software Quick Fan de la empresa SODECA

Dentro de los resultados presentados por el software se presentan dos categorías, la primera es de los modelos estándar y la segunda de modelos con ángulo, RPM y motor personalizados según el punto de diseño.

Se escogió la segunda opción debido a que estos equipos cuentan con un control de RPM del motor por transmisión con poleas, lo que genera una ventaja en cuanto al manejo del caudal en caso de que llegara a necesitar un ajuste.

Se escogió el ventilador CJDXR-315-7.5 de 60Hz recomendado por el software debido a que tiene un punto de servicio con mayor caudal del que se necesita suministrar y soporta mayores presiones y al contar con un motor al que se le pueden graduar sus revoluciones por medio de poleas permite regular el caudal a suministrar y en caso de ser necesario un ajuste del mismo el ventilador tiene la capacidad para cubrir esta necesidad. Adjunto en el Anexo C se encuentra la ficha técnica del mismo.

Figura 18. Curvas de rangos de operación del ventilador



Fuente: elaboración propia, con base en. Ficha técnica del ventilador Anexo C.

Dentro de la selección del ventilador usando el software Quick Fan también se seleccionó una unidad de filtrado de referencia MF 18/18-F7+F9. Esta unidad de filtrado tiene la ventaja de poder usar tanto filtros F6+F8 que son los necesarios para este proyecto como se explicó anteriormente, como filtros F7+F9, además tiene la ventaja de que es de ensamble modular con el ventilador, por lo cual es de fácil instalación.

Por último, en la selección del ventilador también se tuvo en cuenta una unidad de calentamiento de aire ofrecida por el fabricante y seleccionada también utilizando el software mencionado anteriormente. El fabricante ofrece unidades de calefacción por resistencias y unidades de calefacción por agua; Se escogió calefacción por resistencias debido a que es de simple montaje, modular y no requiere servicios extra como una conexión a un punto de agua.

La utilización de este módulo de calefacción se sustenta en la necesidad de controlar la temperatura en caso de que esta se llegase a bajar dentro de los espacios debido a la inyección de aire, que, aunque no retira totalmente las cargas térmicas en los espacios puede disminuir un poco la temperatura y volverla una variable crítica.

La unidad de calefacción seleccionada es de referencia ME-18/18-G4, a continuación, se muestran la potencia que consume y el voltaje y la corriente con los que trabaja.

Tabla 43. Características técnicas del módulo de calefacción

ME: Características módulos batería eléctrica						
Modelo	Intensidad (A)	Potencia instalada (kW)			Caudal máximo (m ³ /h)	Peso aprox (Kg)
	400V	Etapas 1	Etapas 2	Etapas 3		
ME-7/7	13	3	3	3	1500	23
ME-9/9	23	5.4	5.4	5.4	3300	33
ME-10/10	33	7.7	7.7	7.7	4500	44
ME-12/12	52	12	12	12	6000	61
ME-15/15	81	18.8	18.8	18.8	10000	96
ME-18/18	97	22.5	22.5	22.5	13000	123

Fuente: elaboración propia, con base en. Software Quick Fan de la empresa SODECA.

5.4 SELECCIÓN DE REJILLAS

Para hacer la selección de rejillas era necesario conocer el caudal que saldría por cada una de ellas, que es el mismo caudal que necesita cada espacio y la velocidad que debía llevar el aire en las mismas. Esta velocidad fue seleccionada a partir de la siguiente tabla debido a que las velocidades varían según el espacio.

Tabla 44. Velocidades en rejillas de expulsión de aire

Bocas de Impulsión	m/s
Estudios de radiodifusión, cabinas de grabación	1,5 a 2,5
Dormitorios de hotel	2,5 a 3
Residencias, salones regios, restaurantes lujo	2,5 a 3,5
Iglesias, antesalas importantes	2,5 a 3,5
Apartamentos, viviendas	2,5 a 4
Oficinas privadas tratadas acústicamente	2,5 a 4
Teatros	4
Oficinas particulares no tratadas	3,5 a 5
Salas de cine	5
Oficinas públicas, restaurantes	5 a 7
Almacenes comerciales, plantas altas	7,5
Sistemas de alta velocidad	3 a 8
Fábricas	5 a 10
Almacenes comerciales, plantas bajas	10

Fuente: SOLER & PALAU. Velocidad del aire. {En línea}. {06 Mayo de 2019}. Disponible en (<https://www.solerpalau.com/es-es/hojas-tecnicas-velocidad-del-aire/>)

Con la velocidad y el caudal que estarán presentes en cada rejilla se procedió a calcular el área que debería tener cada rejilla para cumplir con las condiciones mencionadas anteriormente. Esta área se convirtió a unidades del Sistema Inglés (In²) debido a que los fabricantes proporcionan sus medidas en pulgadas.

Conociendo el área se estableció un lado de la rejilla teniendo en cuenta como parámetro que no podía superar el ancho de cada ducto para posteriormente

calcular el lado restante dividiendo el área en pulgadas cuadradas sobre el lado establecido en pulgadas.

Para finalizar con la selección de rejillas se estandarizaron las medidas teniendo en cuenta las medidas comerciales brindadas por el fabricante LAMINAIRE en sus catálogos. Todas las rejillas se escogieron con Damper debido a que puede presentarse la necesidad de graduar la apertura de las mismas en el momento de la puesta a punto del sistema.

Las rejillas seleccionadas se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 45. Dimensiones de rejillas

Zona	Caudal (m3/s)	Velocidad (m/s)	Área (m2)	Área (In2)	Lado 1 (In)	Lado 2 (In)
Cocina	0.074	5.00	0.015	23.00	6	4
Laboratorio 1	0.116	5.00	0.023	35.98	6	6
Laboratorio 2	0.116	5.00	0.023	35.98	6	6
Laboratorio 3	0.116	5.00	0.023	35.98	6	6
Recepción	0.360	3.75	0.096	148.80	6	24
Archivo	0.048	3.75	0.013	19.82	6	4
Dirección Técnica	0.288	3.75	0.077	119.04	6	20
Oficinas Calidad 1	0.045	3.75	0.012	18.59	6	4
Oficinas Calidad 2	0.045	3.75	0.012	18.59	6	4
Salón de Conferencias 1	0.107	2.50	0.043	66.18	6	10
Salón de Conferencias 2	0.107	2.50	0.043	66.18	6	10
Dirección Ejecutiva	0.360	3.75	0.096	148.80	6	24
Coordinación	0.070	3.75	0.019	28.99	6	6
Contabilidad	0.288	3.75	0.077	119.04	6	20

Fuente: elaboración propia.

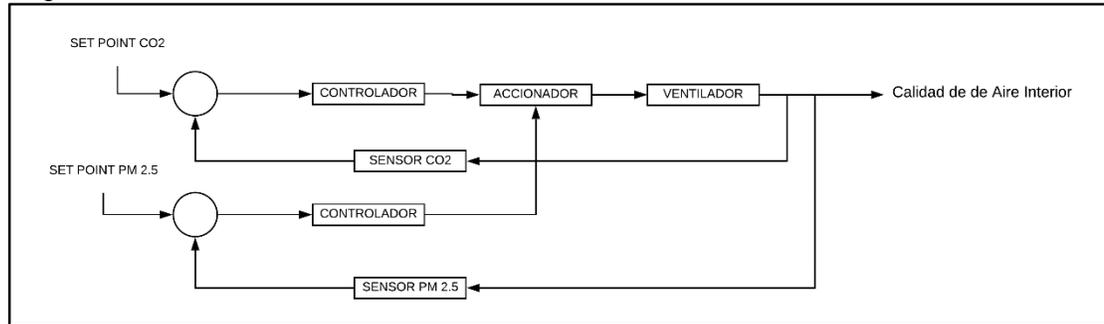
5.5 SISTEMA DE CONTROL

Debido a que este proyecto está enfocado al diseño del sistema de climatización, el sistema de control no se diseñara de forma detallada, sin embargo, es importante el estudio del mismo debido a que de este depende el óptimo funcionamiento del sistema de climatización, por lo cual se propone una forma de control que debe ser estudiada en detalle por el personal designado por ACAIRE para tal fin, quienes serán los encargados de seleccionar los componentes de dicho sistema.

Para el funcionamiento del sistema de ventilación se propone controlar el encendido del ventilador por medio de un sistema de control todo/nada, o también conocido

como un sistema On/Off en lazo cerrado (figura 12), el cual tiene dos posiciones fijas encendido o apagado, de acuerdo al valor medido en las variables del proceso. Dado que las condiciones críticas en la CAI de ACAIRE son la concentración de CO₂ y las partículas en suspensión PM 2.5, estas serán las que se deben controlar por medio de sensores y se definen como variables del proceso.

Figura 19. Sistema de control lazo cerrado



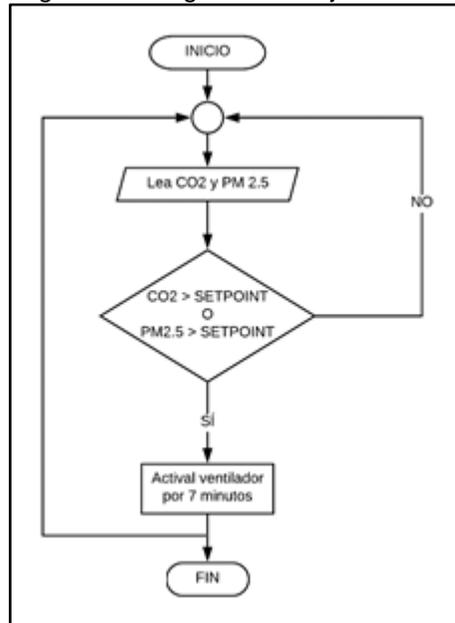
Fuente: elaboración propia

En el sistema de control todo/nada, el controlador es el encargado de comparar el valor medido por el sensor con el set point, de forma que calcula el error y actúa corrigiendo ese error, abriendo o cerrando un contacto eléctrico que prende o apaga el sistema⁸⁴. El valor deseable o set point se determina teniendo en cuenta los límites recomendados en la NORMA CAI para calificar si una variable es conforme o no conforme, como se explicó en el capítulo 3, por lo tanto, el set point para la concentración de CO₂ será de 600ppm y para las partículas en suspensión PM 2.5 será 20 µg/m³.

Cuando una o las dos variables del proceso estén por encima del set point el ventilador del sistema de climatización se activará por 7min, de lo contrario el sensor seguirá midiendo hasta que identifique un nivel excesivo en alguna de las variables, explicado en el siguiente diagrama de flujo.

⁸⁴ MARTÍN SANCHEZ, Silvia. Eficiencia energética en las instalaciones de climatización en los edificios. 5 edición. España: Elearning S.L, 2015. 257p. ISBN 978-84-16360-52-9

Figura 20. Diagrama de flujo

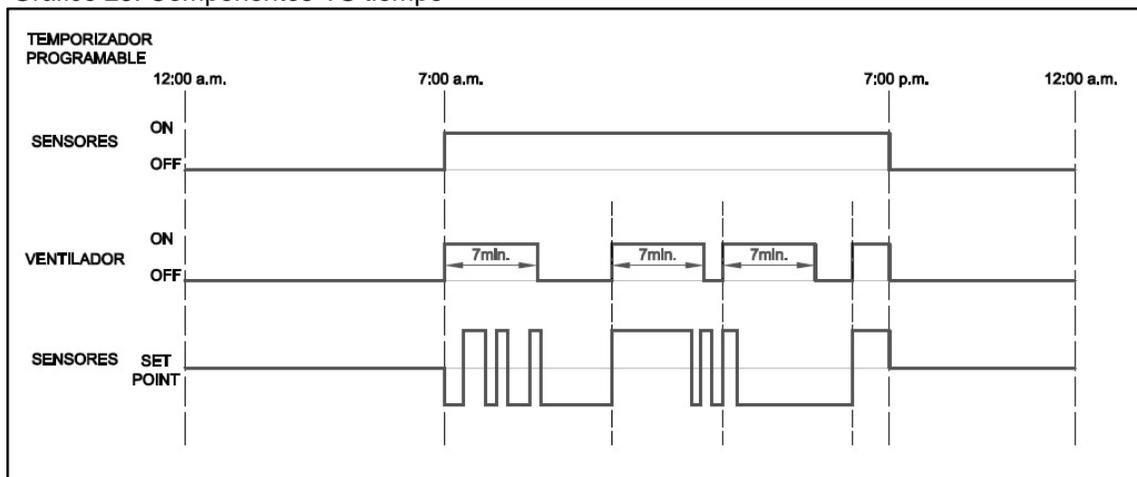


Fuente: elaboración propia

Adicionalmente, el sistema de control se condiciona para que por medio de un temporizador programable el sistema solo este prendido en el horario laboral, es decir, de 7am a 7pm. El primer ciclo del sistema de climatización, será cuando el sistema se prenda sin importar si el nivel de las variables esta alto o bajo, ya que se busca renovar el aire interior al inicio del día.

En el siguiente gráfico, se muestra el comportamiento de los diferentes componentes del sistema respecto al tiempo.

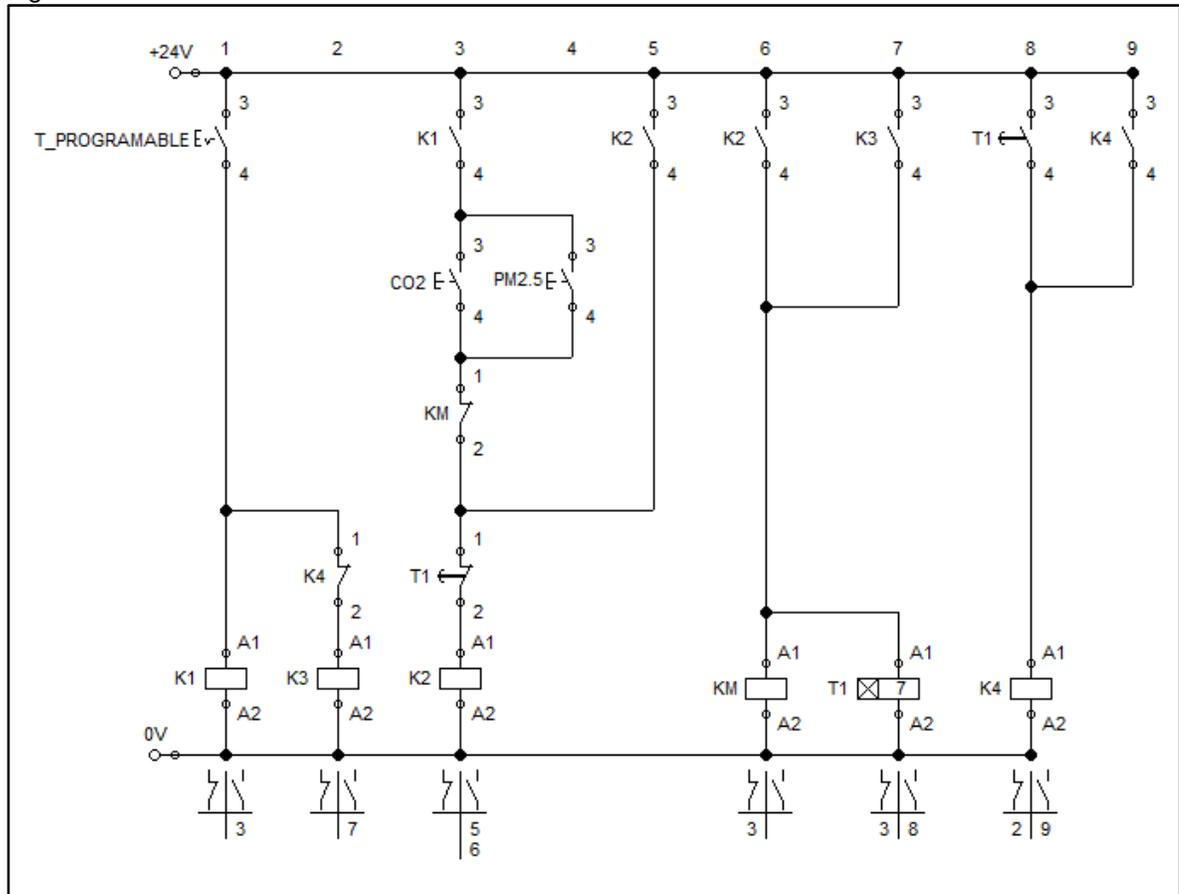
Gráfico 25. Componentes VS tiempo



Fuente: elaboración propia

El funcionamiento eléctrico del sistema, se expone en la figura 14, en donde el encendido se controla por medio del temporizador programable, que permitirá dar arranque al sistema de control en la hora establecida, el temporizador T1 que se encarga de controlar los 7min., tiempo durante el cual el ventilador debe estar encendido, y el juego de relés, que impide el paso de las señales dadas por los sensores, CO2 Y PM2.5 ilustradas como pulsadores, mientras el ventilador este prendido, ilustrado como relé KM.

Figura 21. Circuito eléctrico

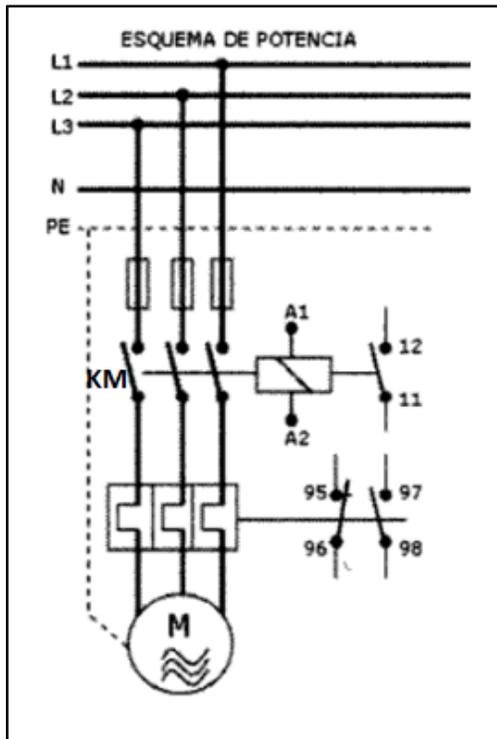


Fuente: elaboración propia, con base en. Software FluidSim

Para controlar la entrada de señal eléctrica en el motor, se hace uso de un contactor para motor trifásico, el cual cuenta con una bobina electromagnética y varios contactores. La bobina cierra los contactos cuando es energizada y los abre cuando se desenergiza. Cabe aclarar que para que la señal llegue al motor los contactos deben abrirse o cerrarse al mismo tiempo⁸⁵, en las tres líneas de alimentación (L1, L2, L3) como se muestra en la siguiente figura.

⁸⁵ WIRZ, Dick. Refrigeración comercial para técnicos de aire acondicionado. Madrid: Paraninfo, 2008. 166p. ISBN 978-84-283-3031-2

Figura 22. Arranque de motor trifásico con contactor



Fuente: GARCÍA PASCUAL, Antoni.
ALABERN MORERA, Xavier.
Instalaciones Eléctricas. Barcelona: UOC
Editorial, 2005. 87p. ISBN 84-9788-161-3

6. VALIDACIÓN DE DATOS POR SOFTWARE

Para la validación de los cálculos mostrados en el capítulo anterior se usó un software libre proporcionado por la empresa CASALS, la cual es una empresa española fabricante de equipos de ventilación. Este software llamado “Cálculo y Selección de Ventiladores” en su parte de selección tiene una opción llamada “Definir Circuito”, en la cual se ingresan los datos de temperatura promedio exterior del aire que se ingresará al sistema, la altura de la ciudad en la cual se hará la instalación y el caudal y la velocidad con la cual funcionará el circuito.

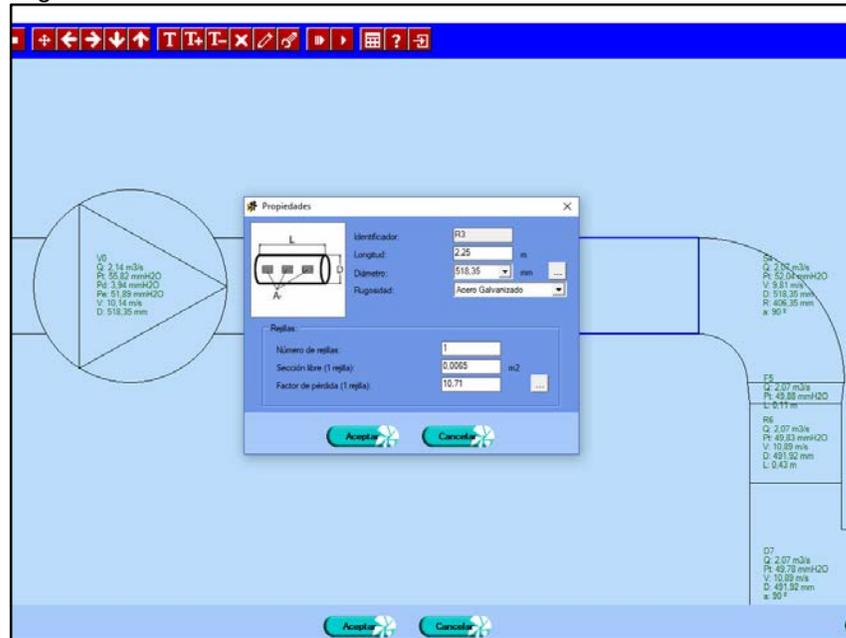
Figura 23. Parámetros iniciales para uso de software CASALS

The screenshot shows the 'Casals - Cálculo y Selección de ventiladores - v3.0.2' application window. The interface is in Spanish and features a sidebar on the left with navigation buttons: 'Empresa', 'Catálogo', 'Selección', 'Selección múltiple', 'Opciones', 'Contacto', 'Ayuda', 'Salir', and 'Clean windows'. The main area is divided into two sections: 'Datos de Caudal' and 'Datos de Presión'. The 'Datos de Caudal' section includes fields for 'Caudal:' (2.14 m³/s), 'Número de ventiladores:' (1), and 'Tipo de ventilador:' (Todos). The 'Datos de Presión' section includes fields for 'Presión:' (Pa @ 20°C 2600m 0.88Kg/m3), 'Temperatura del aire:' (20°C), 'Altura sobre el nivel del mar:' (2600 m), and 'Temperatura máxima del aire:' (20°C). A 'Parámetros generales' dialog box is open in the center, displaying fields for 'Temperatura del aire:' (20°C), 'Caudal:' (2.14 m³/s), 'Nivel mar:' (2600 m), 'Velocidad máxima del aire:' (10 m/s), and 'Densidad:' (0.88 kg/m³). The dialog box also has checkboxes for 'Activar cálculo dinámico del caudal', 'Ocultar el texto del circuito', 'Tamaño del texto invariante al zoom', 'Modificar directamente dimensiones de tubos', and 'Habilitar efecto venturi en las rejillas'. The 'Aceptar' and 'Cancelar' buttons are visible at the bottom of the dialog box.

Fuente: elaboración propia, con base en. Software Cálculo y Selección de ventiladores de la empresa CASALS.

Habiendo establecido los parámetros anteriormente mencionados el software muestra una interfaz en la cual se puede dibujar la ductería, estableciendo en cada tramo su longitud y las dimensiones del ducto, también permite agregar los accesorios necesarios para que el sistema en el software quede exactamente igual al propuesto y calculado anteriormente.

Figura 24. Diseño del sistema en el software CASALS



Fuente: elaboración propia, con base en. Software Cálculo y Selección de ventiladores de la empresa CASALS.

Por último, se agregan las rejillas del tamaño seleccionado con el fin de verificar que el caudal de aire que pasa por ellas es el necesario y de esta forma poder conocer el caudal y la velocidad del aire al interior de cada ducto.

Tabla 46. Informe de resultados de simulación del software CASALS

Identificador	Caudal (m3/s)	Velocidad (m/s)	Presión (mmH2O)	Dimensiones	Número Rejillas	Q rejilla (m3/s)
V0	2,14	10,14	55,82	Ø: 518,35 (mm)	-	-
F1	2,14	10,14	3,54	Ø1: 518,35 (mm) Ø2: 518,35 (mm) L: 0,52 (m)	-	-
F2	2,14	10,14	52,28	Ø1: 518,35 (mm) Ø2: 518,35 (mm) L: 0 (m)	-	-
R3	2,14	10,14	52,28	Ø: 518,35 (mm) L: 2,25 (m)	1	0,07
S4	2,07	9,81	52,04	Ø: 518,35 (mm) R: 406,35 (mm) a: 90 (grados)	-	-
F5	2,07	9,81	49,88	Ø1: 518,35 (mm) Ø2: 491,92 (mm) L: 0,11 (m)	-	-
R6	2,07	10,89	49,83	Ø: 491,92 (mm) L: 0,43 (m)	0	0
D7	2,07	10,89	49,78	Ø: 491,92 (mm) a: 90 (grados)	-	-
F8	1,01	5,29	49,78	Ø1: 491,92 (mm) Ø2: 399,61 (mm) L: 0,46 (m)	-	-
R9	1,01	8,02	46,49	Ø: 399,61 (mm) L: 2,48 (m)	0	0
S10	1,01	8,02	46,25	Ø: 399,61 (mm) R: 403,78 (mm) a: 90 (grados)	-	-
R11	1,01	8,02	45,13	Ø: 399,61 (mm)	1	0,04

Fuente: elaboración propia, con base en. Software Cálculo y Selección de ventiladores de la empresa CASALS.

Teniendo el informe se compararon los resultados con los cálculos hechos, lo cual muestra un error del 1.50% en el caudal de aire que pasa dentro de los ductos y un error del 3.52% en la velocidad dentro de los mismos. Esta comparación de resultados se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 47. Comparación de datos calculados VS resultados simulación

Sector Real	Sector Simulación	Caudal Real (M3/S)	Caudal Simulación (M3/S)	Velocidad Real (m/s)	Velocidad Simulación (m/s)	Porcentaje de error Caudal %	Porcentaje de error Velocidad %
A	R3	2,14	2,14	9,91	10,14	0,01%	2,30%
B	R6	2,07	2,07	10,54	10,89	0,21%	3,22%
C	R38	1,04	1,06	9,85	10,29	1,50%	4,27%
D	R48	0,71	0,72	9,97	10,23	1,65%	2,50%
E	R50	0,59	0,60	10,39	10,79	1,32%	3,73%
F	R52	0,48	0,48	9,92	10,26	0,82%	3,34%
G	R54/R56	0,36	0,36	10,00	10,37	0,00%	3,57%
H	R41/R43	0,34	0,34	8,00	8,41	1,19%	4,89%
I	R45	0,29	0,29	8,00	8,51	0,69%	5,99%
A2	R9/R11	1,02	1,01	8,88	8,02	1,14%	10,76%
B2	R13	0,98	0,97	9,48	9,81	0,68%	3,35%
C2	R27	0,62	0,60	9,23	9,38	3,07%	1,59%
D2	R29	0,57	0,56	10,06	10,13	2,41%	0,68%
E2	R31	0,47	0,45	9,72	9,70	3,72%	0,24%
F2	R33/R35	0,36	0,34	10,00	9,91	5,88%	0,91%
G2	R16	0,36	0,36	7,46	7,71	0,52%	3,23%
H2	R18/R20/R22/R24	0,29	0,29	8,00	8,44	0,69%	5,21%
Promedios						1,50%	3,52%

Fuente: elaboración propia.

7. MANUALES

7.1 MANUAL DE INSTALACIÓN

El manual de instalación se hizo teniendo en cuenta los manuales de los fabricantes SODECA y SOLER & PALAU, en los cuales se especifica las indicaciones que se deben tener en cuenta para la correcta instalación del ventilador, así mismo se utilizó la **NORMATIVA DE DUCTOS EN PLANCHA METALICA PARA TRANSPORTE DE AIRE**, de Chile.

El proceso de instalación de la ductería y los componentes del sistema debe llevarse a cabo por personal calificado y preferiblemente por la empresa fabricante de la ductería.

En el caso de los componentes eléctricos se deben instalar desconectados de la red eléctrica.

Antes de realizar la instalación del sistema de ventilación, es necesario hacer algunas adecuaciones en la infraestructura del edificio, tales como perforar las paredes por donde pasaran los ductos, los agujeros correspondientes en el techo para la sujeción de los soportes y la construcción de la placa de concreto para la base del ventilador.

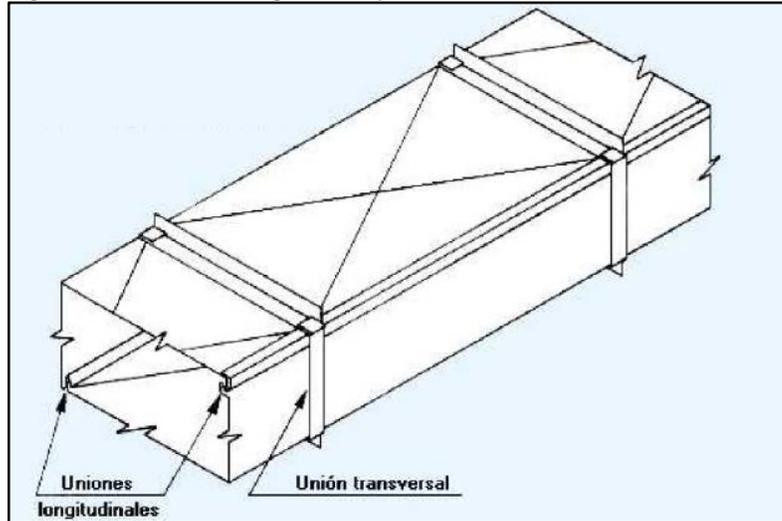
7.1.1 Instalación de ductería. En primera instancia se tendrá en cuenta la tabla 7 extraída de la norma anteriormente nombrada, con la cual se puede deducir que los ductos que se usarán para este proyecto serán de clasificación M.1, dado que la presión total del sistema calculada en capítulos anteriores es de 777.53Pa y así mismo se establece que para evitar fugas de aire los ductos deben estar sellados trasversal y longitudinalmente.

Tabla 48. Clasificación de ductos

Clase de conductos	Presión máxima en ejercicio (Pa)	Velocidad máxima (m/s)	Notas
B.1 (baja)	150(1)	10	(1) Presión positiva o negativa
B. 2 (baja)	250(1)	12.5	
B.3 (baja)	500(1)	12.5	
M. 1 (media)	750(1)	20	(2) Presión positiva (3) Velocidad usualmente superior a 10 m/s
M. 2 (media)	1 000 (2)	(3)	
M. 3 (media)	1 500 (2)	(3)	
A. 1 (alta)	2 500 (2)	(3)	

Fuente: ASOCIACIÓN GREMIAL DE PROFESIONALES EN CLIMATIZACIÓN Y REFRIGERACIÓN. normativa de ductos en plancha metálica para transporte de aire. Actualización de octubre de 2015. Santiago de Chile. DITAR, 2015. p. 7

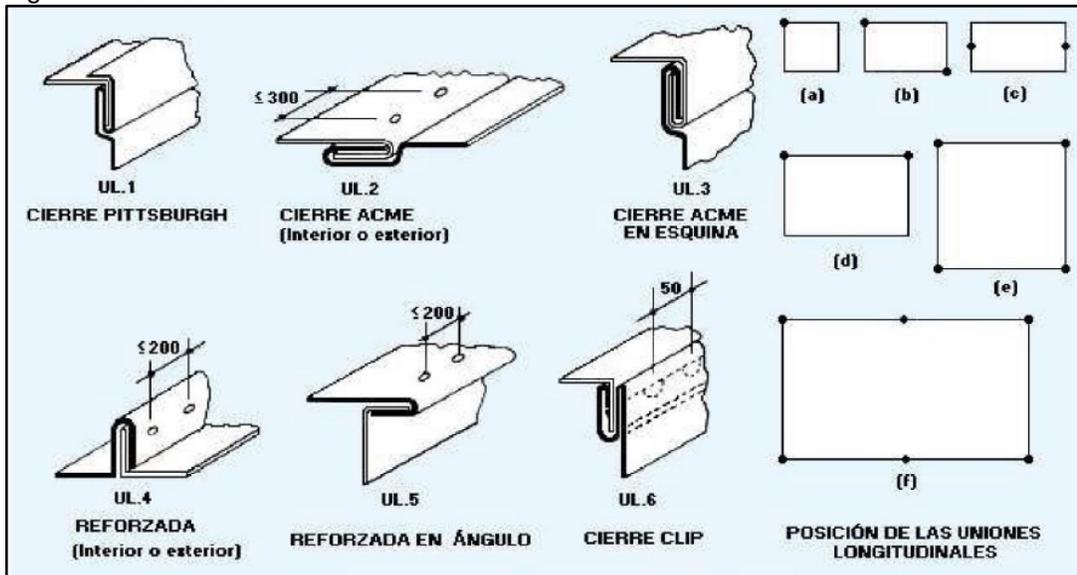
Figura 26. Grafado longitudinal y transversal



Fuente: ASOCIACIÓN GREMIAL DE PROFESIONALES EN CLIMATIZACIÓN Y REFRIGERACIÓN. normativa de ductos en plancha metálica para transporte de aire. Actualización de octubre de 2015. Santiago de Chile. DITAR, 2015. p. 12

De acuerdo a la clasificación del ducto se aconseja utilizar uniones longitudinales, tipo UL.3 (cierre ACME en esquina) debido a que es un acople ideal para el grafado en esquinas y tiene menos dobleces que los demás.

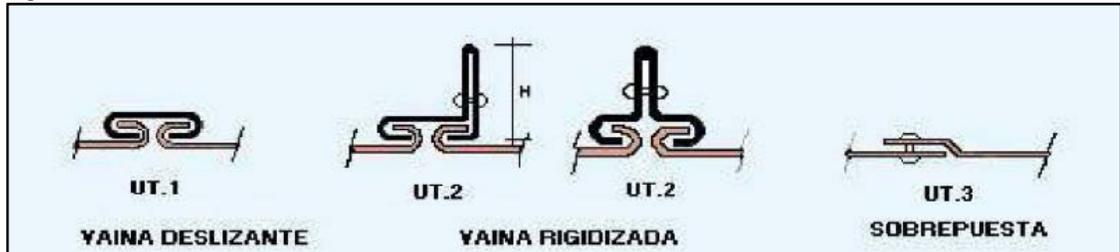
Figura 27. Grafado de ductos



Fuente: ASOCIACIÓN GREMIAL DE PROFESIONALES EN CLIMATIZACIÓN Y REFRIGERACIÓN. normativa de ductos en plancha metálica para transporte de aire. Actualización de octubre de 2015. Santiago de Chile. DITAR, 2015. p. 11

Para el grafado transversal se recomienda hacer con la unión tipo UT.3 (sobrepueta) ya que evita el uso de platinas de unión y se encuentra remachado, por tal razón proporciona un mayor sellado, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 28. Grafado Transversal



Fuente: ASOCIACIÓN GREMIAL DE PROFESIONALES EN CLIMATIZACIÓN Y REFRIGERACIÓN. normativa de ductos en plancha metálica para transporte de aire. Actualización de octubre de 2015. Santiago de Chile. DITAR, 2015. p. 11

Para el montaje de los ductos se deben tener en cuenta tres cosas importantes: el anclaje al elemento estructural del edificio, los tirantes, y la fijación del conducto al soporte.

Para el anclaje a la estructura del edificio, se hace directamente al techo de cada una de las plantas, por medio de chazos expansivos que sujetaran los tirantes, en este caso será varilla roscada y finalmente el ducto se soportara con riel channel en la base de los ductos.

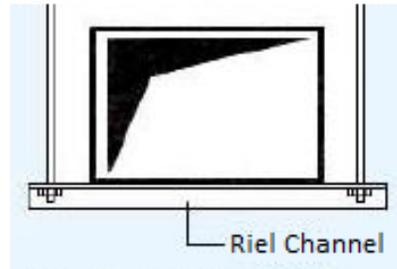
El diámetro de las varillas depende del perímetro máximo del ducto, y la distancia entre los soportes, para este caso se seleccionó una varilla de 6mm debido a que el ducto mayor tiene un perímetro de 1.9 m y la distancia máxima entre soportes será de 2.4m con el fin de evitar el pandeo de los ductos. Estos datos fueron seleccionados con la siguiente tabla.

Tabla 49. Dimensiones y separación de soportes para conductos rectangulares

Máxima suma de lados o semiperímetro	Distancia entra parejas da soportes m							
	3.0		2.4		1.5		1.2	
M	pletinas mm	varillas mm	pletinas mm	varillas mm	pletinas mm	varillas mm	pletinas mm	varillas mm
1.8	25 x(8)	6	25 x(8)	6	25 x(8)	6	25 x(8)	6
2.4	25x(12)	8	25x(10)	6	25 x(8)	6	25 x(8)	6
3	25x(15)	10	25x(12)	6	25 x(8)	6	25 x(8)	6
4.2	40x(15)	12	25x(15)	10	25x(12)	8	25x(12)	8
4.8	---	12	40x(15)	12	25x(15)	8	25x(15)	8
>4.8	Se requiere un estudio de pesos							

Fuente: ASOCIACIÓN GREMIAL DE PROFESIONALES EN CLIMATIZACIÓN Y REFRIGERACIÓN. normativa de ductos en plancha metálica para transporte de aire. Actualización de octubre de 2015. Santiago de Chile. DITAR, 2015. p. 39

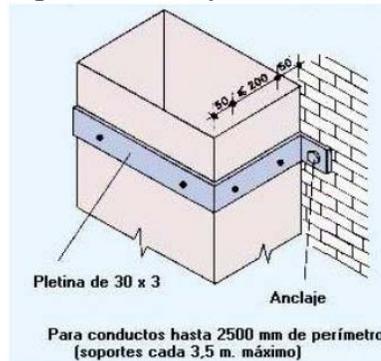
Figura 29. Montaje de ductos



Fuente: ASOCIACIÓN GREMIAL DE PROFESIONALES EN CLIMATIZACIÓN Y REFRIGERACIÓN. normativa de ductos en plancha metálica para transporte de aire. Actualización de octubre de 2015. Santiago de Chile. DITAR, 2015. p. 31

Para los ductos verticales, se recomienda utilizar una pretina y anclarla a la pared como se muestra en la siguiente figura.

Figura 30. Montaje ducto vertical



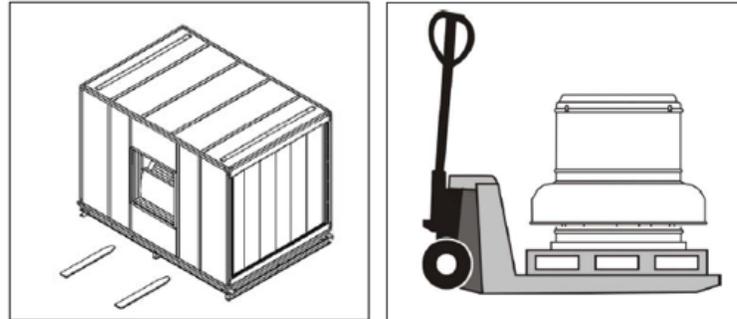
Para conductos hasta 2500 mm de perímetro (soportes cada 3,5 m. máximo)

Fuente: ASOCIACIÓN GREMIAL DE PROFESIONALES EN CLIMATIZACIÓN Y REFRIGERACIÓN. normativa de ductos en plancha metálica para transporte de aire. Actualización de octubre de 2015. Santiago de Chile. DITAR, 2015. p. 42

7.1.2 Instalación del módulo de ventilación. Antes de la instalación se deberán tener las acometidas de servicios necesarios para el funcionamiento del sistema.

Para transportar el equipo desde el vehículo transportador al lugar donde va a ser instalado se debe utilizar una estibadora como se muestra en la siguiente imagen.

Figura 31. Transporte del ventilador



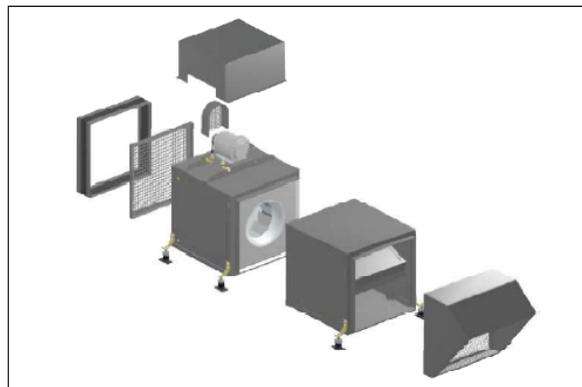
Fuente: SOLER & PALAU. Manual de instalación, operación y mantenimiento ventiladores centrífugos y axiales. {En línea}. {15 mayo de 2019}. Disponible en: (<https://www.solerpalau.mx/ASW/recursos/mman/MANUAL%20DE%20INSTALACION,%20OPERACION%20Y%20MANTENIMIENTO%20VENTILADORES%20CENTRIFUGOS%20Y%20AXIALES%202016.pdf>). p. 6-7

Luego de transportar el equipo a donde será instalado, se debe desembalar y verificar que no presenta signos de manipulación deficiente durante el transporte ya que puede afectar el funcionamiento del equipo, en caso de presentar alguna anomalía se debe comunicar con el fabricante.

Para la instalación del equipo se deberá usar los cáncamos suministrados por el proveedor para el izaje del equipo ubicándolo sobre la plancha.

Se deberá realizar el mismo procedimiento para los módulos de filtrado y calefacción. Posteriormente se ensamblarán todos los módulos como se muestra en la siguiente figura.

Figura 32. Unión de módulos de filtración, calefacción y ventilación.

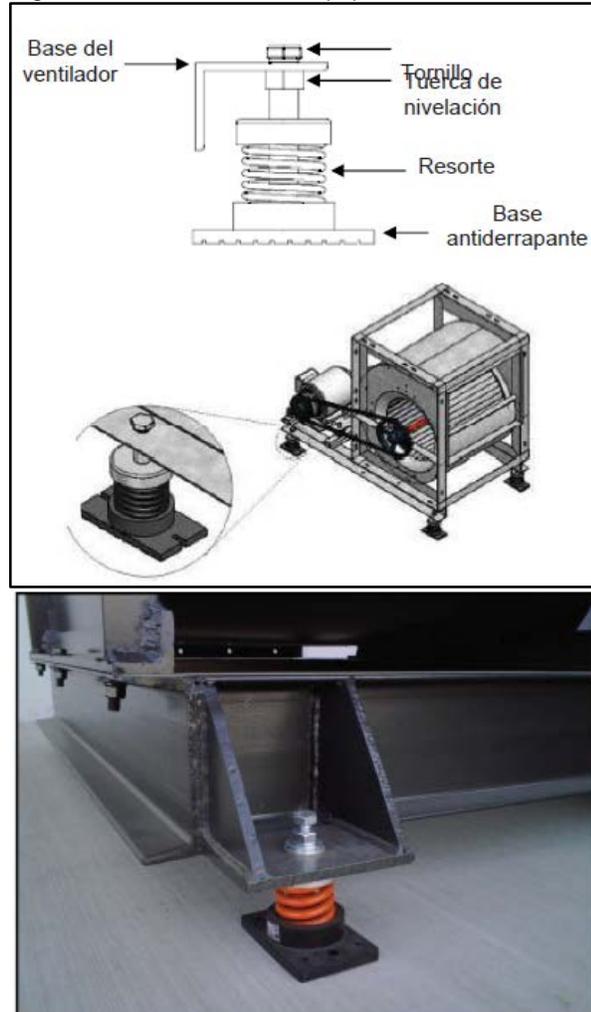


Fuente: SOLER & PALAU. Manual de instalación, operación y mantenimiento ventiladores centrífugos y axiales. {En línea}. {15 mayo de 2019}. Disponible en: (<https://www.solerpalau.mx/ASW/recursos/mman/MANUAL%20DE%20INSTALACION,%20OPERACION%20Y%20MANTENIMIENTO%20VENTILADORES%20CENTRIFUGOS%20Y%20AXIALES%202016.pdf>). p. 10

La base de los módulos de calefacción, filtrado y ventilación debe ser instalada de preferencia sobre una cimentación de concreto armado plana, nivelada y rígida con una masa por lo menos tres veces mayor que el ensamble soportado para que actúe como una base de inercia.

Se deberá realizar la nivelación de los equipos utilizando los resortes anti vibración como tornillos de nivelación.

Figura 33. Nivelación de equipos



Fuente: SOLER & PALAU. Manual de instalación, operación y mantenimiento ventiladores centrífugos y axiales. {En línea}. {15 mayo de 2019}. Disponible en: (<https://www.solerpalau.mx/ASW/recursos/mman/MANUAL%20DE%20INSTALACION,%20OPERACION%20Y%20MANTENIMIENTO%20VENTILADORES%20CENTRIFUGOS%20Y%20AXIALES%202016.pdf>). p. 11-12

Una vez están instalados los equipos de debe hacer la unión con el sistema de ductería.

La perspectiva 3D del sistema de ventilación instalado en cada planta de ACAIRE se muestra en los Anexos E y F.

7.2 MANUAL DE OPERACIÓN

Para la puesta en marcha del equipo se debe verificar que las acometidas se servicios, correspondan a las necesidades técnicas de los equipos.

El mantenimiento y/o supervisión del sistema de ventilación solo podrá ser manipulado por las personas autorizadas y debidamente capacitadas para tal fin.

Se recomienda instalar avisos de peligro en las partes que genere riesgo a integridad de las personas, así como los botones de parada de emergencia.

Los equipos no cuentan con garantía por mal uso o manipulación del equipo.

Para un correcto funcionamiento y preservación del sistema, se recomienda seguir el manual de mantenimiento de los equipos y recomendaciones de los fabricantes.

La operación del equipo se detalla en el sistema de control (sección 5.5), por lo tanto, se recomienda que diariamente se verifique que el sistema está encendido.

7.3 MANUAL DE MANTENIMIENTO

El siguiente manual de mantenimiento está basado en manuales de mantenimiento proporcionados por la empresa SODECA, a la cual pertenece el ventilador que se usará en el proyecto. También se usó como referencia un manual de mantenimiento proporcionado por la empresa SOLER & PALAU, la cual también es fabricante de ventiladores.

Para el momento de hacer un mantenimiento se hacen las siguientes recomendaciones generales de seguridad con el fin de velar por la integridad de las personas que tengan contacto con el equipo.

- No tocar, poner herramientas o partes del cuerpo cerca de piezas móviles del ventilador cuando este se encuentre en servicio. Parar siempre el motor antes de hacer cualquier trabajo de mantenimiento.
- Mantener cuerpo, manos y objetos extraños fuera de la entrada y de la descarga del ventilador. El ventilador tiene piezas que pueden estar calientes. No tocar el ventilador o el motor durante su operación.

- No energizar el ventilador cuando la hélice o el rotor estén girando en el sentido contrario al de operación debido a fuerzas externas.
- No operar el ventilador sin estar anclado firmemente y aterrizado eléctricamente.⁸⁶

También es necesario tener las siguientes precauciones antes, durante y después del mantenimiento.

- Antes de comenzar el mantenimiento apagar, asegurar el interruptor de conexión, desenergizar y desconectar todas las fuentes de energía al motor y a los accesorios, asegurar también la hélice o el rotor del ventilador.
- Siempre utilizar las herramientas correctas para evitar daños o mantenimientos incorrectos a las piezas.
- Verificar que el rotor gira libremente, que sus tornillos están bien apretados y las bandas tensas antes de operar el ventilador.
- Verificar que se cuenta con los accesorios necesarios de seguridad y que estos están instalados correctamente antes de la operación del ventilador.
- Verificar que todas las partes del ventilador están instaladas y funcionando de forma correcta al finalizar el trabajo de mantenimiento.⁸⁷

Siguiendo las recomendaciones de los fabricantes se propone el uso de un equipo que permita realizar un análisis de vibraciones periódico debido a que de esta manera se pueden detectar fallas prematuras y de esta forma tener la posibilidad de corregirlas antes de que estas puedan convertirse en un problema grave, además de esto, se previenen sobre costos de reparaciones y paros no planeados debidos a fallas.

Los problemas que más fácilmente se pueden detectar mediante un análisis de vibraciones según el manual de mantenimiento de la empresa fabricante SOLER & PALAU son:

- Desbalance
- Desalineación
- Flexiones permanentes

⁸⁶ SOLER & PALAU. Manual de instalación, operación y mantenimiento ventiladores centrífugos y axiales. {En línea}. {15 mayo de 2019}. Disponible en: (<https://www.solerpalau.mx/ASW/recursos/mman/MANUAL%20DE%20INSTALACION,%20OPERACION%20Y%20MANTENIMIENTO%20VENTILADORES%20CENTRIFUGOS%20Y%20AXIALES%202016.pdf>). p. 5

⁸⁷ *Ibíd.*, p.5

- Fisuras en estructuras
- Rozamientos
- Deterioro o defectos en rodamientos
- Resonancias y vibraciones transmitidas
- Vibración en cimientos, estructuras y soportes
- Vibración inducida por flujo
- Problemas en motores eléctricos
- Problemas de lubricación⁸⁸

Teniendo en cuenta lo anterior, se establece un primer cuadro en el cual se muestran los diferentes elementos del sistema, la inspección que se les debe realizar, el tipo de falla que se desea evitar, las causas de la falla y la periodicidad con la que se le debe realizar dicha inspección a cada componente, este se establece como una ruta de mantenimiento predictivo con el fin de evitar malos funcionamientos del sistema que generen paradas inesperadas para su corrección.

Cuadro 7. Ruta de mantenimiento predictivo

Elemento	Inspección	Tipo de falla a encontrar	Causas	Periodicidad
Motor	Verificación del estado de limpieza del motor	Calentamiento excesivo del motor	Acumulación de polvo y residuos en el motor	Cada 6 meses
	Verificar el estado de las conexiones del motor	Intermitencia del motor	Conexiones sueltas, tornillos y tuercas mal ajustados	Cada mes
Hélices y Turbinas	Verificar las vibraciones mecánicas en los cojinetes	Desbalance en la caja de ventilación	Mal ajuste en tuercas y tornillos, desbalance por acumulación de residuos	Cada mes
	Verificar el estado de limpieza de la hélice	Bajo rendimiento del sistema	Acumulación de polvo y residuos en las paletas	Cada 2 meses
Rodamientos	Verificar el nivel sonoro de los rodamientos	Aumento de ruido en los rodamientos	Mala lubricación, suciedad y acumulación de partículas	Cada 2 meses
	Verificar la temperatura de los rodamientos	Aumento de temperatura en los rodamientos		
Poleas y correas	Verificar la alineación de las correas	Desgaste prematuro de las correas y vibración en el sistema	Poleas mal colocadas en los ejes, ejes no paralelos, poleas inclinadas debido a montaje inadecuado	Cada 6 meses
	Verificar la tensión de las correas	Daño en los cojinetes por sobre carga o rechines y patinado de las correas	Poleas mal colocadas, uso	Cada 6 meses
Filtros	Verificación el estado de limpieza de los filtros	Bajo caudal a la salida del ventilador, trabajo forzado del sistema	Filtros tapados, uso	Cada 2 meses
Rejillas	Verificar el estado de limpieza de las rejillas	Bajo caudal a la salida de las rejillas	Acumulación de polvo	Cada 2 meses

Fuente: elaboración propia.

Con base en el cuadro propuesto anteriormente se realiza un segundo cuadro en el cual se encuentran las fallas que se pudieron encontrar en una primera inspección y que procedimientos deben realizarse para corregir la misma junto con los recursos que se deberán utilizar para este proceso.

⁸⁸ Ibíd., p.5

Cuadro 8. Procedimientos de mantenimiento correctivo

Fallas	Procedimiento a realizar	Recursos
Calentamiento excesivo del motor	Limpieza de polvo en el motor entre las aletas de refrigeración y en las aberturas de entrada de aire del mismo.	Usar un soplador
Intermitencia del motor	Verificar conexiones en la caja de bornes y verificar buen apriete de tuercas y tornillos de conexionado.	Usar juego de llaves, copas y destornilladores
Desbalance en la caja de ventilación	Comparar los valores medidos en los análisis de vibraciones hechos en un periodo largo de tiempo. En caso de variaciones significativas investigar posibles causas y realizar un reequilibrado.	Usar equipo para análisis de vibraciones e historial de resultados
Bajo rendimiento del sistema	Limpieza de polvo y residuos en las palas o aletas del ventilador y entre las partes giratorias y las partes fijas del ventilador.	Usar un soplador
Aumento de ruido en los rodamientos	Revisar el estado de cada uno de los cojinetes en busca de cuerpos extraños, suciedad y humedad. En caso de encontrarlos realizar una limpieza a los mismos.	Usar un martillo de caucho y una valletilla, usar la grasa lubricante sugerida por el fabricante en caso de ser necesario
Aumento de temperatura en los rodamientos	Revisar que los rodamientos cuenten con una buena lubricación. En la etiqueta informativa del equipo si cuenta con rodamientos con lubricación de por vida, en caso de con contar con ellos en la etiqueta se especifica el tipo de grasa a utilizar.	Usar la grasa lubricante sugerida por el fabricante y un martillo de caucho
Desgaste prematuro de las correas y vibración en el sistema	Utilizando una regla, alinearla a lo largo de la cara exterior de ambas poleas, en caso de verse una brecha entre las poleas y la regla mover la polea que se encuentre desalineada hasta que esta brecha sea mínima.	Usar una regla y un juego de llaves y copas
Daño en los cojinetes por sobre carga o rechines y patinado de las correas	Desplazar de forma paralela el motor sobre los carriles de tensado o elevar la placa de soporte del motor. Calcular la tensión correcta a partir de la distancia y la fuerza de deflexión. Realizar el cambio de la polea en caso de que esta presente un desgaste alto.	Usar un dinamómetro, un tensímetro y un juego de llaves y copas
Bajo caudal a la salida del ventilador, trabajo forzado del sistema	Realizar el cambio oportuno de los filtros, revisar el caudal a la salida del ventilador e instalar manómetros en la línea de succión y en la línea de descarga con el fin de mirar la diferencia en las presiones, si la presión aumenta demasiado es cuando se debe realizar el cambio.	Anemómetro, manómetros y filtros de repuesto en caso de ser necesarios
Bajo caudal a la salida de las rejillas	Verificar el caudal que sale por cada rejilla con un anemómetro, en caso de ser menor al propuesto desmontar la rejilla y realizar la limpieza del damper y de las vías de la misma.	Anemómetro, soplador y juego de destornilladores

Fuente: elaboración propia.

El siguiente cuadro es recomendado por la Norma FAIAR para realizar la evaluación higiénica del sistema de ventilación.

Cuadro 9. Evaluación higiénica de sistemas Norma FAIAR

EVALUACIÓN HIGIÉNICA DE LOS SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN						
Elementos inspeccionados	Nº puntos	Estado mecánico	Nivel suciedad	Presencia de agua	Presencia de óxido	Observaciones
Toma de aire exterior						
Filtros						
Módulo de calefacción						
Ventilador de impulsión						
Conducto de aire de impulsión						
Rejillas de ventilación						
Otro:						

Fuente: FEDERACIÓN DE ASOCIACIONES IBEROAMERICANAS DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN. Grupo 5. Norma FAIAR de control de calidad de aire en interiores en edificios. p.40. Iberoamérica. FAIAR, 2018

Adicionalmente en el Anexo D se presenta un cuadro en el cual se muestran otras posibles fallas y la causas de las mismas, que pueden presentarse en el sistema de ventilación extraído del manual de mantenimiento de equipos presentado por el fabricante SOLER & PALAU.

Así como se debe realizar un mantenimiento periódico a los equipos con el fin de velar por su buen funcionamiento, es importante hacer la inspección CAI para verificar que los parámetros estén controlados.

En la tabla 1 de la Norma FAIAR (Anexo I) se presenta la periodicidad con la que se debe realizar el control CAI, midiendo los diferentes parámetros para garantizar que se está cumpliendo con los rangos establecidos en la norma. En caso de que la edificación tenga cambios significativos se debe realizar la identificación y evaluación de aspectos mostrada en el capítulo 2, de lo contrario dicha identificación puede realizarse cada 5 años.

8. ANÁLISIS DE COSTOS DEL SISTEMA DISEÑADO

Para conocer el costo de este proyecto, teniendo en cuenta el diseño e instalación, se dividió en tres grupos, el primero hace parte de la fase de diseño, donde se relaciona el costo de ingeniería, el segundo es el costo del sistema de ventilación y el tercero es el costo de la ductería incluyendo las rejillas y la mano de obra para la instalación.

Los costos de ingeniería se muestran en la tabla 50, donde se incluye el costo del talento humano, siendo el valor del tiempo utilizado por los proyectistas para el desarrollo de este proyecto, la maquinaria y/o equipos necesarios como los computadores y los análisis físicos que se realizaron para la medición de parámetros de la CAI, y los elementos necesarios para imprimir este proyecto, definidos como fungibles.

Tabla 50. Costos de ingeniería

	ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR	TOTAL
TALENTO HUMANO	Proyectistas (2)	HORAS	1542	\$ 7.500	\$ 11.565.000
MAQUINARIA Y EQUIPOS	Computador	UNIDAD	2	\$ 2.000.000	\$ 4.000.000
	Análisis físico	ANÁLISIS	2	\$ 1.500.000	\$ 3.000.000
FUNGIBLES	Libros	UNIDAD	4	\$ 100.000	\$ 400.000
	Papel	RESMA	3	\$ 10.300	\$ 10.300
	Tinta	TÓNER	4	\$ 249.900	\$ 249.900
				TOTAL	\$ 19.225.200

Fuente: elaboración propia

Para el costo del sistema de ventilación, se contactó al equipo comercial de SODECA, siendo la marca fabricante del equipo requerido en el diseño de este proyecto, quienes realizaron la cotización mostrada en el Anexo G, y los costos del equipo se muestran en la tabla 51.

Tabla 51. Costo de los equipos de ventilación

SISTEMA	COMPONENTE	MARCA	CANTIDAD	Valor unit (€) EUROS	Valor Unit. COP
Sistema de ventilación Mecánica	Unidades de ventilación con turbina de álabes hacia atrás, aisladas acústicamente, equipadas con ventiladores de la serie CDXR, sobre amortiguadores de goma. Referencia: CJDXR-315-7,5 ie3	SODECA LATAM SAS	1	EUR 1.504	\$ 5.579.487
	Módulos de filtración con filtro F7 y F9	SODECA LATAM SAS	1	EUR 1.004	\$ 3.696.764
	Módulos con batería eléctrica con filtro G4	SODECA LATAM SAS	1	EUR 2.783	\$ 10.247.105
SUBTOTAL					\$ 19.523.356
IVA (19%)					\$ 3.709.438
TOTAL					\$ 23.232.794

Fuente: elaboración propia

El sistema de ductería, fue cotizado con la empresa ACONAIRE SAS (Anexo H), quienes serían los encargados de la fabricación e instalación de todo el sistema de ductos, incluyendo los difusores con dámper necesarios para cada espacio, el costo se muestra en la Tabla 52.

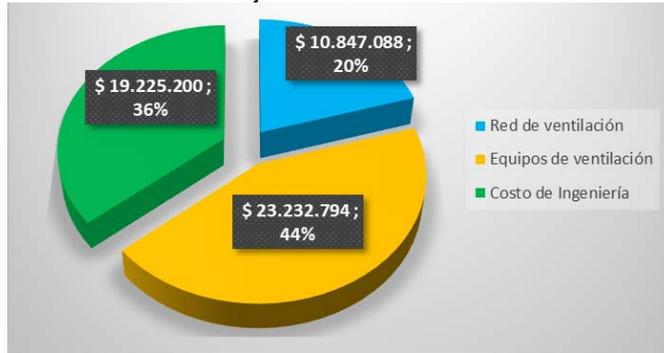
Tabla 52. Costo de la red de ventilación

SISTEMA	COMPONENTE	MARCA	CANTIDAD	COSTO POR UNIDAD	COSTO TOTAL
Red de ductos	Ducto fabricado en lamina de acero galvanizado calibre 24	ACESCO	80 M2	\$ 76.000	\$ 6.080.000
	Accesorio de instalación sistema de ductería (soporteria en angulo estructural y tensores, aislamiento AC-20)		1GLB	\$ 300.000	\$ 300.000
Sistema de Distribución de Aire	Difusor aleta curva con damper Multi-Shutter 4 vías 4x6".	LAMINAIRE	4	\$ 31.000	\$ 124.000
	Difusor 4 vías 6x6" con damper.	LAMINAIRE	4	\$ 64.400	\$ 257.600
	Difusor 4 vías 6x10" con damper.	LAMINAIRE	2	\$ 85.400	\$ 170.800
	Difusor 4 vías 6x20" con damper.	LAMINAIRE	2	\$ 117.600	\$ 235.200
	Difusor 4 vías 6x24" con damper.	LAMINAIRE	2	\$ 163.800	\$ 327.600
	Accesorio de instalación sistema de distribución de aire (Clips de aseguramiento de rejillas, chazos y tornillos tipo goloso)			1	\$ 120.000
Mano de obra	Mano de obra por cuenta de personal ACONAIRE SAS, fabricación, instalación, balanceo de rejillas, pruebas finales y documentación.	ACONAIRE SAS	1	\$ 1.400.000	\$ 1.400.000
	Transporte equipos, materiales necesarios para la instalación	ACONAIRE SAS	1	\$ 100.000	\$ 100.000
SUBTOTAL					\$ 9.115.200
IVA (19%)					\$ 1.731.888
TOTAL					\$ 10.847.088

Fuente: elaboración propia

De esta forma se concluye que para llevar a cabo este proyecto, se estima un presupuesto mínimo de \$53.305.082 COP, como se muestra en la tabla 53, adicionalmente en el grafico 25 se hace una distribución de costos con el fin de conocer el porcentaje de cada grupo respecto al costo total del proyecto.

Gráfico 26. Porcentaje de costos



Fuente: elaboración propia

Tabla 53. Valor total del proyecto

VALOR TOTAL DEL PROYECTO		
GRUPO	NOMBRE	VALOR
1	Red de ventilación	\$ 10.847.088
2	Equipos de ventilación	\$ 23.232.794
3	Costo de Ingeniería	\$ 19.225.200
	TOTAL	\$ 53.305.082

Fuente: elaboración propia

El principal beneficio que presenta este proyecto es la generación de un espacio que brinda las mejores condiciones tanto de confort como de calidad de aire al interior del edificio administrativo de ACAIRE, lo que optimiza el aprendizaje de los asistentes a conferencias y el rendimiento de los empleados debido a que el alto contenido de CO2 que se encontró en las mediciones realizadas al inicio del proyecto es una fuente contaminante que produce somnolencia en las personas,

9. CONCLUSIONES

- Se realizó la evaluación del estado actual del edificio en estudio, donde se encontró que actualmente la calidad de aire interior en ACAIRE se encuentra en un estado No Conforme, según los estudios realizados basados en la norma objeto de este trabajo, por lo tanto, es necesario tomar medidas correctivas para evitar el “síndrome del edificio enfermo” y mejorar el ambiente para los usuarios de las instalaciones.
- Se determinó que los contaminantes más críticos en ACAIRE son las altas concentraciones de CO₂ y partículas en suspensión PM 2.5 debido a la ubicación del edificio y al alto contenido de equipos y material ofimático.
- Con la evaluación de diferentes alternativas se definió que debido al espacio disponible, costos, mantenimiento y eficiencia energética, la mejor opción para mejorar la calidad de aire interior en ACAIRE es utilizando un sistema de ventilación mecánica.
- Se realizó el diseño del sistema de climatización teniendo en cuenta los requerimientos de diseño y seleccionando los equipos necesarios para controlar la calidad de aire interior en ACAIRE.
- Al comparar los cálculos realizados en el diseño detallado con los resultados del informe del proceso de simulación se obtiene un error del 3.52% en los cálculos de velocidad y un error del 1.40% en los cálculos del caudal de aire dentro del sistema.
- Se elaboraron los planos de la red de ductos de ventilación y la ubicación del ventilador dentro de las instalaciones de ACAIRE.
- Se elaboraron los manuales de instalación, operación y mantenimiento para el sistema de climatización.
- El costo total del sistema de climatización teniendo en cuenta la fabricación e instalación de la ductería, el costo del equipo de ventilación con sus accesorios respectivos y los costos de ingeniería es de \$53.305.082, de los cuales corresponden el 20%, el 44% y el 36% respectivamente de los costos mencionados anteriormente del costo total del proyecto.
- Con la aplicación de este proyecto se verá beneficiado ACAIRE ya que controlará la calidad de aire interior y así mejorará las condiciones de confort térmico para los usuarios y visitantes.

10. RECOMENDACIONES

- Como primera medida se recomienda realizar los cambios estructurales necesarios para la implementación del sistema de ventilación diseñado.
- Se recomienda el uso de un sensor de PM 2.5 y uno de CO₂ en la parte del techo de cada espacio a controlar.
- Después de la instalación del sistema se recomienda hacer una medición del caudal y la velocidad del aire a la salida de cada rejilla con el fin de balancear el sistema utilizando los dámpers de las mismas.
- Por último, se recomienda mantener las ventanas cerradas para evitar el ingreso de contaminantes del aire exterior excepto en el área de baños en donde se deberán mantener abiertas para hacer renovación de aire de manera natural en los mismos.
- Cuando se realicen prácticas de soldadura en el laboratorio se recomienda abrir la ventana con el fin de evitar la acumulación de gases dentro del mismo y si se activa el sistema de ventilación el aire contaminado pueda salir más rápido del espacio, así mismo, se deberá cerrar la puerta con el fin de evitar que los gases contaminen otras áreas.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. Condiciones de ambiente térmico para ocupación humana. Atlanta. ASHRAE, 2010.

AIRZONE. ¿Qué son los sistemas VRF de climatización?. {En línea}. {16 de Abril de 2019}. Disponible en: (<http://www.airzone.es/blog/climatizacion/que-son-los-sistemas-vrv-de-climatizacion/>)

ANSI/ASHRAE 55. Condiciones de Ambiente Térmico para Ocupación Humana. Atlanta. ASHRAE, 2010.

ANSI/ASHRAE STANDARD 62.1. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta. ASHRAE, 2010.

ANSI/ASHRAE STANDARD 90.1. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. Atlanta. ASHRAE, 2010.

ASHRAE. Handbook Fundamentals. Atlanta. ASHRAE, 1989. ISBN 0-910110-57-3

ASOCIACIÓN GREMIAL DE PROFESIONALES EN CLIMATIZACIÓN Y REFRIGERACIÓN. normativa de ductos en plancha metálica para transporte de aire. Actualización de octubre de 2015. Santiago de Chile. DITAR, 2015.

CALOR Y FRÍO. Sistemas VRF, la climatización eficiente para edificios y locales. {En línea}. {16 de Abril de 2019}. Disponible en: (www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/aire-acondicionado-comercial/sistemas-vrf-climatizacion-eficiente-edificios-locales-comerciales-infografia.html)

CARAZO FERNÁNDEZ, Luis. FERNÁNDEZ ALVAREZ, Ramón. GONZÁLEZ BARCALA, Francisco. RODRÍGUEZ PORTAL, José Antonio. Contaminación del aire interior y su impacto en la patología respiratoria. {En línea}. {5 de febrero de 2019}. Disponible en: (<https://www.archbronconeumol.org/es-contaminacion-del-aire-interior-su-articulo-S0300289612001196>)

CARRIER. Manual de aire acondicionado. Barcelona: Marcombo. ISBN 84-267-0115-9

CENGEL, Yunus A. y GHAJAR, Afshin J. Transferencia de calor y masa: Introducción y conceptos básicos. Cuarta Edición. McGraw Hill, 2011. P. 17
CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA, COMUNIDAD DE MADRID. Guía de renovación de aire eficiente en el sector residencial. Madrid, 2014.

CLIMA PROYECTOS. Aire acondicionado mini split. {En línea}. {16 de Abril de 2019}. Disponible en: (<https://aireacondicionadominisplit.com/>)

CLIMA PROYECTOS. Sistemas VRF. {En línea}. {16 de Abril de 2019}. Disponible en: (<https://sistemasvrf.com/>)

CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA, COMUNIDAD DE MADRID. Guía de renovación de aire eficiente en el sector residencial. Madrid, 2014.

DELGADO ECHEVERRI, Rodolfo. Acondicionamiento de aire. {En línea}. {12 de Abril de 2019}. Disponible en: (<https://revistas.upb.edu.co/index.php/upb/article/viewFile/3660/3248>)

DIARIO EL TIEMPO. El Síndrome del Edificio Enfermo. {En Línea}. {3 de Marzo de 2019}. Disponible en: (<https://www.eltiempo.com/vida/salud/sintomas-del-sindrome-del-edificio-enfermo-59885>)

Efectos de las deficiencias energéticas en las oficinas. {En línea}. {20 de enero de 2019}. Disponible en: (https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6107/11CAPITULO2_3.pdf;sequence=11)

ENERGÍA Y SOCIEDAD. “Las claves del sector energético”. {En línea}. {15 enero de 2019}. Disponible en: (http://www.energiaysociedad.es/manenergia/1-1-que-es-la-eficiencia-energetica/#_ftn1)

FACTOR ENERGÍA. “¿Qué es la eficiencia energética?”. {En línea}. {15 enero de 2019}. Disponible en: (<https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/que-es-la-eficiencia-energetica/>)

FEDERACIÓN DE ASOCIACIONES IBEROAMERICANAS DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN. Grupo 5. Norma FAIAR de control de calidad de aire en interiores en edificios. Iberoamérica. FAIAR, 2018

FLORÍA, Pedro. Gestión de la higiene industrial en FERNANDEZ, Luis C. Contaminación del aire interior y su impacto en la patología respiratoria. {En línea}. {10 de Abril de 2019}. p.1 Disponible en: (<https://www.archbronconeumol.org/es-contaminacion-del-aire-interior-su-articulo-S0300289612001196>)
la empresa. 7 edición. Madrid: FC Editorial.

FRANZETTI, Christelle. Influencia del acoplamiento entre la luz natural y la iluminación artificial en cargas térmicas en edificios de oficinas. En: Energy and Buildings. Vol. No. 36 (Feb. 2004).

GARCÍA PASCUAL, Antoni. ALABERN MORERA, Xavier. Instalaciones Eléctricas. Barcelona: UOC Editorial, 2005. ISBN 84-9788-161-3

GATLEY, Donaldp. Understanding psychrometrics: etymology. Third edition. Atlanta: ASHRAE, 2013. ISBN 978-1936504-31-2

GIANCOLI, Douglas C., Física principios con aplicaciones: presión de vapor y humedad. Sexta edición. México: Pearson Education, 2006. ISBN 970-26-0695-0

GONZÁLEZ RUIZ, Agustín., FLORÍA, Pedro y GONZÁLEZ MAESTRE, Diego. Manual para la prevención de riesgos laborales en las oficinas. Madrid: FC Editorial, 2003.

HERNÁNDEZ GORIBAR, Eduardo. Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración. México: Limusa, 2009. ISBN 978-968-18-0604-0

HOWELL, Ronald H. Principles of Heating, Ventilating and Air Conditioning. 8th edición. Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado, Inc. (ASHRAE).

IDEAM. Calidad del aire. {En Línea}. {3 de Marzo de 2019}. Disponible en: (<http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire>)

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486- 6166. Bogotá D.C.: El instituto, 2018. ISBN 9789588585673 153p.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Calidad del aire interior. Contaminantes biológicos (I): estrategia de muestreo. 2015. {En línea}. {10 de Abril de 2019}. p.1 Disponible en: (<https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/NTP/NTP/Ficheros/1055a1065/ntp-1064w.pdf>)

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO (INSHT), Confort térmico, Barcelona, 2017. {en línea}. ISSN: 213-7658 Disponible en: (http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/FichasNotasPracticas/Ficheros/np_enot_99.pdf)

KRAMER, Fernando. Educación ambiental para el desarrollo sostenible. Madrid: Catarata, 2003. ISBN 84-8319-165-2

LAPUERTA AMIGO, Magin y ARMAS, Octavio. Frío industrial y aire acondicionado. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha: Cuenca, 2012.

LA PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LOS LUGARES DE TRABAJO. Guía para la intervención sindical. Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS). 2007. {En línea}. {20 de enero de 2019}. Disponible en: (<http://www.aragon.es/estaticos/ImportFiles/09/docs/Ciudadano/SaludPublica/SaludAmbiental/Publicaciones/mi%20oficina%20esta%20enferma.pdf>)

MARTÍN SANCHEZ, Silvia. Eficiencia energética en las instalaciones de climatización en los edificios. 5 edición. España: Elearning S.L, 2015.

MCCABE, Warren L. y SMITH, Julian C. Operaciones básicas de ingeniería química: Transmisión de calor y sus aplicaciones. Barcelona, Bogotá, Buenos Aires, Caracas, México: Reverté, 1973.

MAS, Jorge M. VÉLEZ ORTIZ, Roxana. DOMINGUEZ, José María. Aire acondicionado: Clasificación y características de los sistemas. Tucumán, 2011, Catedra de acondicionamiento ambiental II. Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de arquitectura y urbanismo

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Guidelines for Indoor Air Quality – Selected Pollutants, Euro Reports and Studies. OMS, 2010. ISBN 978 92 890 0213 4

PREVENCIONAR. ¿Qué es confort térmico?. {En línea}. {2 de febrero de 2019}. Disponible en: (<http://prevencionar.com.co/2016/05/24/que-es-confort-termico/>)

REGLAMENTO DE INSTALACIONES TERMICAS EN LOS EDIFICIOS. Madrid. RITE, 2013.

REX, Miller y MILLER, Mark R: HVAC Licensing study guide. Third edition. McGraw hill Professional, 2018. ISBN 9781260116007

REY MARTINEZ, Francisco. Calidad de ambientes interiores. Thomson, 2007

REY MARTÍNEZ, Francisco Javier, VELASCO GÓMEZ, Eloy y REY HERNÁNDEZ, Javier M. Eficiencia energética de los edificios: Energía y desarrollo sostenible. Madrid: Paraninfo, 2018.

R NAVE, M Olmo. Energía Interna. {En línea}. {15 febrero de 2019}. Disponible en: (<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/thermo/inteng.html>)

SODECA. Cálculo y diseño de sistemas de ventilación. {en línea}. {09 abril de 2019}. Disponible en: (https://www.sodeca.com/Content/img/InformacioTecnica_02.pdf)

SOLER & PALAU. Manual de instalación, operación y mantenimiento ventiladores centrífugos y axiales. {En línea}. {15 mayo de 2019}. Disponible en: (<https://www.solerpalau.mx/ASW/recursos/mman/MANUAL%20DE%20INSTALACI>)

ON,%20OPERACION%20Y%20MANTENIMIENTO%20VENTILADORES%20CENTRIFUGOS%20Y%20AXIALES%202016.pdf).

SOLER & PALAU. Partículas en suspensión: qué son, cómo nos afectan y cómo podemos reducir su presencia. {En línea}. {3 de febrero de 2019}. Disponible en: (<https://www.solerpalau.com/es-es/blog/particulas-suspension/>).

SOLER & PALAU. ¿Qué es el síndrome del edificio enfermo?. {En Línea}. {3 de Marzo de 2019}. Disponible en: (<https://www.solerpalau.com/es-es/blog/sindrome-edificio-enfermo/>)

SOLER & PALAU. Velocidad del aire. {En línea}. {06 Mayo de 2019}. Disponible en (<https://www.solerpalau.com/es-es/hojas-tecnicas-velocidad-del-aire/>)

STOECKER, Wilbert F. Industrial refrigeration handbook. McGraw Hill, 1998. ISBN 9780070616233

TERRA ECOLOGIA PRÁCTICA. Los contaminantes atmosféricos: las partículas en suspensión (PM). {En línea}. {3 de febrero de 2019}. Disponible en: (<https://www.terra.org/categorias/articulos/los-contaminantes-atmosfericos-las-particulas-en-suspension-pm>)

THORNE AMANN, Jennifer. WILSON, Alex. ACKERLY, Katie. Consumer guide to home energy savings. 10 Edición. Washington D.C: New society publishers, 2012. ISBN 978-1-55092-520-3

TRANE. ASHRAE standard 15 applied to package, Split and VRF system. En: Trane Engineers Newsletter live. Vol., 37-1(Marzo.2008).

ULLMAN, David G.,The mechanical design process. Chapter 6, Understanding the Problem and the Development of Engineering Specifications. Fourth edition. New York: McGraw-Hill,2010.

UNIVERSIDAD DE SEVILLA: departamento de física aplicada III. Trabajo en termodinámica (GIE). {En línea}. {15 febrero de 2019}. Disponible en: ([http://laplace.us.es/wiki/index.php/Trabajo_en_termodin%C3%A1mica_\(GIE\)](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Trabajo_en_termodin%C3%A1mica_(GIE))).

WHITMAN, William C. JOHNSON, William M. Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado: Fundamentos. Madrid: Thomson paraninfo, 2006. ISBN 84-283-2657-6

WIRZ, Dick. Refrigeración comercial para técnicos de aire acondicionado. Madrid: Paraninfo, 2008. ISBN 978-84-283-3031-2

YARKE, Eduardo. Fundamentos y Métodos de cálculo para aplicación de Ingenieros y Arquitectos “Ventilación Natural en Edificios”. Buenos Aires: Nobuko, 2005.

ANEXOS

ANEXO A.
ENCUESTA DE SATISFACCIÓN TÉRMICA ACAIRE

ENCUESTA DE SATISFACCION TERMICA EN ACAIRE



Género: _____ Fecha: _____

1. ¿Cuál es su sensación térmica en el espacio donde se encuentra? (Chequee la opción más apropiada)
UNICA RESPUESTA

- Caliente
- Tibio
- Escasamente Tibio
- Neutral
- Escasamente fresco
- Fresco
- Frio

2. Usando la lista de abajo, marque el tipo de ropa que está usando en este momento. (Chequee todo lo que aplique):

- Camisa Manga Corta
- Camisa Manga Larga
- Camisa Franela
- Vestido
- Pantalón Grueso
- Pantalón Delgado
- Blusa
- Camiseta
- Botas
- Zapatos
- Chaqueta
- Overoles
- Bata
- Chaleco

3. ¿De 1 a 5 qué tan satisfecho está usted con la temperatura en el espacio en donde se encuentra ubicado, siendo 1 inaceptable y 5 excelente? (señale el que es más apropiado)

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

4. Si usted está descontento con la temperatura en el espacio donde se encuentra, cuál de los siguientes factores contribuye a su descontento:

- Humedad muy alta (húmedo)
- Humedad muy baja (seco)
- Movimiento de aire muy alto
- Movimiento de aire muy bajo
- Entrada de sol
- Corrientes de aire de ventanas
- Superficies circundantes calor/frio (piso, techo, paredes o ventanas)
- Ventana en mala condición
- Otra:

5. Como percibe la calidad del aire en el espacio en donde se encuentra ubicado: (Marque con una X UNICA RESPUESTA)

- | | |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Inaceptable | <input type="checkbox"/> Buena |
| <input type="checkbox"/> Aceptable | <input type="checkbox"/> Excelente |

Diga por qué _____

6. Como percibe la intensidad de olor en el espacio en donde se encuentra ubicado:

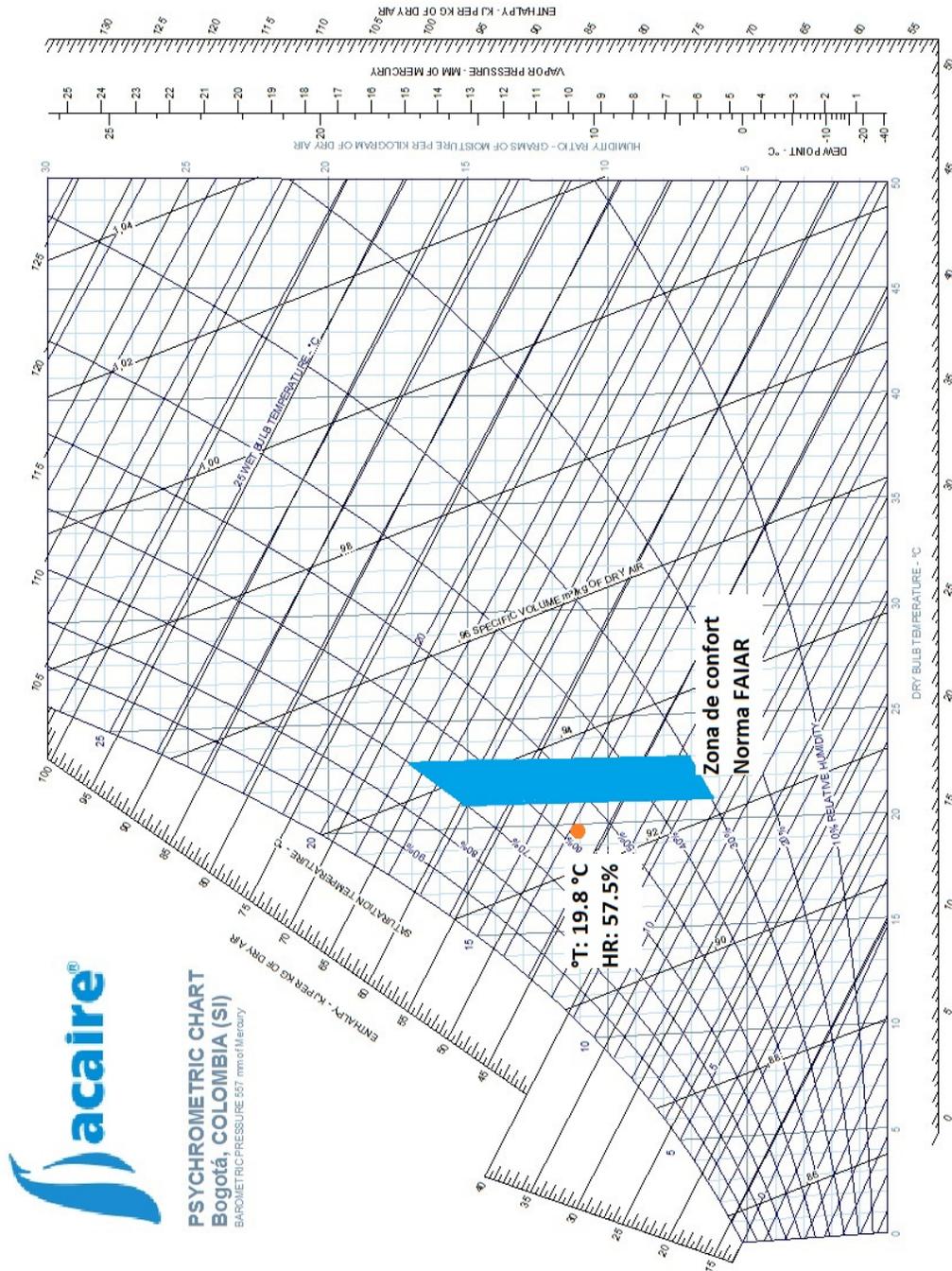
- Sin olor
- Olor débil
- Olor moderado
- Olor fuerte
- Olor muy fuerte

7. Seleccione la opción que mejor lo identifica de acuerdo con las condiciones en el espacio en el que esta y a la actividad que está realizando en este momento:

- Le estresa Es normal Le relaja

Calle 70 N. 12-77
Teléfono (57 1) 8053139/40
Código postal: 110231
Bogotá- Colombia
www.acaire.org

ANEXO B. CARTA PSICROMETRICA DE BOGOTÁ



Fuente: CLAVIJO V, Fabio. Condiciones climáticas de diseño para sistemas de climatización ventilación y refrigeración (CVR). Bogotá: ACAIRE. ISBN 978-958-59721-0-0

ANEXO C.
PÉRDIDA POR ROZAMIENTO EN CONDUCTO REDONDO

Ver en el CD

Fuente: CARRIER. Manual de aire acondicionado. Barcelona: Marcombo. 2-38p.
ISBN 84-267-0115-9

ANEXO D.
FICHA TÉCNICA DEL MÓDULO DE VENTILACIÓN SODECA

Ver en el CD

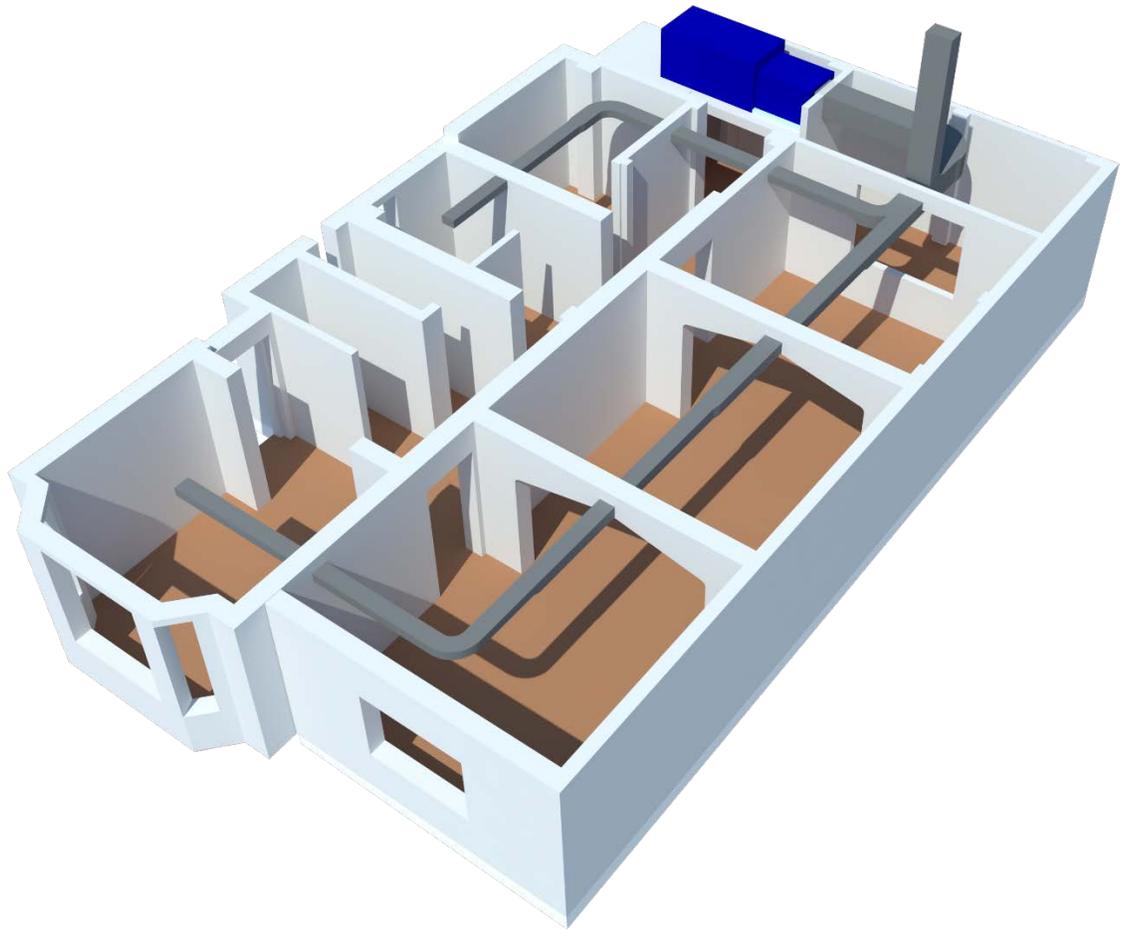
Fuente: SODECA. Informe técnico de datos unidad de ventilación CJDXR-315-7.5

ANEXO E.
AVERÍAS MÁS COMUNES EN VENTILADORES Y SUS POSIBLES CAUSAS
SOLER & PALAU

Ver en el CD

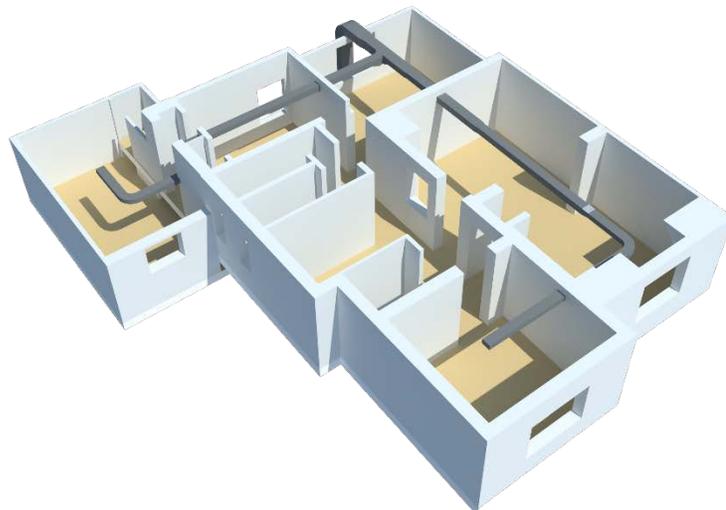
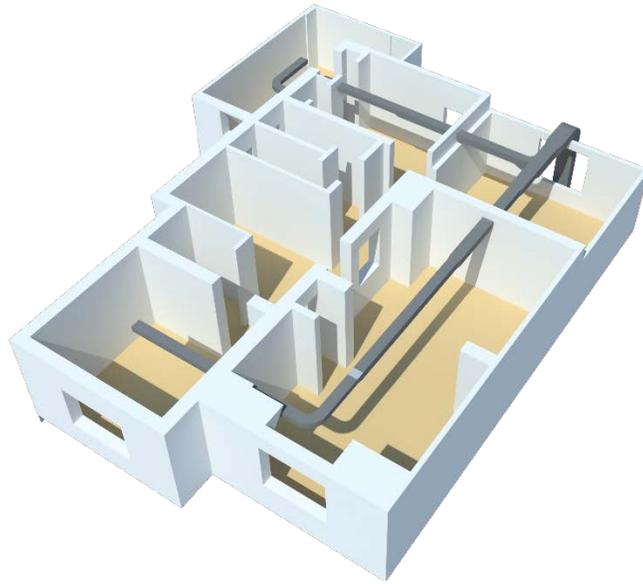
Fuente: SOLER & PALAU. Manual de instalación, operación y mantenimiento ventiladores centrífugos y axiales. {En línea}. {15 mayo de 2019}. Disponible en: (<https://www.solerpalau.mx/ASW/recursos/mman/MANUAL%20DE%20INSTALACION,%20OPERACION%20Y%20MANTENIMIENTO%20VENTILADORES%20CENTRIFUGOS%20Y%20AXIALES%202016.pdf>).

ANEXO F.
PERSPECTIVA 3D SISTEMA DE VENTILACIÓN PLANTA 1



Fuente: elaboración propia, con base en. Software SketchUp

ANEXO G.
PERSPECTIVA 3D SISTEMA DE VENTILACIÓN PLANTA 2



Fuente: elaboración propia, con base en. Software SketchUp

ANEXO H.
COTIZACIÓN SODECA

Ver en el CD

Fuente: SODECA. Cotización N° 26143

ANEXO I.
COTIZACIÓN ACONAIRE

Ver en el CD

Fuente: ACONAIRE. Cotización N° 13341

ANEXO J.
NORMA FAIAR DE CONTROL DE CALIDAD DE AIRE EN INTERIORES EN
EDIFICIOS

Ver en el CD

Fuente: FEDERACIÓN DE ASOCIACIONES IBEROAMÉRICANAS DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN. Grupo 5. Norma FAIAR de control de calidad de aire en interiores en edificios. Iberoamérica. FAIAR, 2018

ANEXO K.
UBICACIÓN DE DUCTOS PLANTA 1

Ver en el CD

Fuente: elaboración propia, con base en. Software AutoCad

ANEXO L.
UBICACIÓN DE DUCTOS PLANTA 2

Ver en el CD

Fuente: elaboración propia, con base en. Software AutoCad

ANEXO M.
UBICACIÓN DE EQUIPOS DE VENTILACIÓN

Ver en el CD

Fuente: elaboración propia, con base en. Software AutoCad