

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	30-09-2024	C
	Dependencia	Aprobado		Pág.
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA		SUBDIRECTOR ACADEMICO		1(201)

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Alexander Pérez Sánchez		
FACULTAD	Ingenierías		
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería Mecánica.		
DIRECTOR	PhD. Carlos Javier Noriega Sánchez		
CODIRECTOR (si aplica)	MSc. Jaider Vergel Pabón		
TÍTULO DE LA TESIS	Diseño de un sistema de circulación de aire para el acondicionamiento del auditorio de Bellas Artes en Ocaña, Norte de Santander		
TITULO EN INGLES	Design of an air circulation system for the conditioning of the Bellas Artes auditorium in Ocaña, Norte de Santander		
RESUMEN (70 palabras)			
El proyecto tiene como objetivo garantizar un confort térmico eficiente en el auditorio mediante un sistema de climatización con ductos tipo espina de pescado y fancoils distribuidos estratégicamente. Utilizando modelado tridimensional en SolidWorks, se validaron las dimensiones y disposición de los componentes, optimizando la distribución del aire, la eficiencia energética y la sostenibilidad del sistema. Este enfoque asegura el cumplimiento de los estándares de confort y eficiencia energética.			
RESUMEN EN INGLES			
The project aims to ensure efficient thermal comfort in the auditorium through an air conditioning system with fishbone ducts and strategically distributed fancoils. Using three-dimensional modeling in SolidWorks, the dimensions and layout of the components were validated, optimizing air distribution, energy efficiency, and system sustainability. This approach ensures compliance with comfort and energy efficiency standards.			
PALABRAS CLAVES	Climatización, Confort térmico, Distribución de aire, Fancoils, Modelado tridimensional.		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Climate control, Thermal comfort, Air distribution, Fancoils, Three-dimensional modeling.		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 200	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM:



Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88
atencionalciudadano@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co

**Diseño de un sistema de circulación de aire para el acondicionamiento del auditorio de
Bellas Artes en Ocaña, Norte de Santander**

Alexander Pérez Sánchez

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña

Ingeniería Mecánica

PhD. Carlos Javier Noriega Sánchez

MSc. Jaider Vergel Pabón

Agosto 6 de 2025

Índice

	Pág.
Índice	2
Lista de Tablas	4
Lista de Figuras	5
Lista de Apéndices	6
Capítulo 1. Diseño de un sistema de circulación de aire para el acondicionamiento del auditorio de Bellas Artes en Ocaña, Norte de Santander.	7
1.1 Planteamiento del Problema	7
1.2 Formulación del problema	9
1.3 Objetivos	9
1.3.1 <i>Objetivo General</i>	9
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	9
1.4 Justificación	10
1.5 Delimitaciones	14
1.5.1 <i>Delimitación Temporal.</i>	14
1.5.2 <i>Delimitación Espacial.</i>	14
1.5.3 <i>Delimitación de Recursos.</i>	14
1.5.4 <i>Delimitación Técnica.</i>	14
Capítulo 2. Marco referencial	16
2.1 Marco Histórico	16
2.1.1 <i>Evolución de los sistemas de ventilación a nivel mundial</i>	16
2.1.2 <i>Desarrollo de sistemas de ventilación en Colombia</i>	19
2.1.3 <i>Situación de los sistemas de ventilación a nivel local.</i>	21
2.2 Marco Contextual	24
2.3 Marco Conceptual	29
2.4 Marco Teórico	35
2.4.1 <i>Teoría de la sostenibilidad en edificaciones</i>	35
2.4.2 <i>Teoría de la termodinámica aplicada a la climatización</i>	36
2.4.3 <i>Teoría del confort térmico de Fanger</i>	36
2.4.4 <i>Teoría del flujo de aire en espacios cerrados</i>	37
2.4.5 <i>Teoría de la automatización y control en ventilación</i>	38
2.5 Marco Legal	38
Capítulo 3. Diseño metodológico	43
3.1 Tipo de investigación	43
3.2 Población y muestra	43
3.2.1 <i>Población</i>	43
3.2.2 <i>Muestra</i>	44
3.3 Diseño de instrumentos de recolección de la información y técnicas de análisis de datos	44
3.4 Análisis de información	44
3.5 Cronograma de actividades	47
Capítulo 4. Resultados	50
4.1 Análisis de las condiciones ambientales ideales (temperatura, humedad, velocidad del aire) mediante métodos adecuados de evaluación y monitoreo ambiental, para el confort de los usuarios y la calidad del aire en el auditorio	62

4.1.1 Definir los rangos óptimos de temperatura, humedad y velocidad del aire para el confort térmico en el auditorio	67
4.1.2 Identificar factores que influyen la calidad del aire (Ocupación, ventilación, materiales del espacio).	71
4.1.3 Revisar normativas y estándares de confort térmico y calidad del aire	74
4.1.4 Diagnóstico del sistema actual frente a estándares de confort térmico y calidad del aire.....	78
4.2 Cálculo de las variables técnicas, mecánicas y térmicas del sistema de circulación de aire determinando las capacidades de ventilación y los requerimientos energéticos del nuevo sistema para garantizar una climatización eficiente y sostenible, en el auditorio.	83
4.2.1 Cálculo del caudal de aire necesario para garantizar una ventilación adecuada en el sistema	83
4.2.2 Determinación de la cantidad de calor que debe ser removido o añadido al sistema para mantener las condiciones térmicas deseadas	103
4.2.3 Elegir los equipos de ventilación y climatización adecuados en función de los cálculos realizados en las actividades anteriores.	117
4.2.4 Calcular la Energía Necesaria para Operar el Sistema de Refrigeración	135
4.3 Diseño del sistema de ductos y la red de distribución del aire, teniendo en cuenta la distribución del espacio y las necesidades específicas del auditorio, con el fin de mejorar el flujo de aire, mitigar la estancación de contaminantes y optimizar el rendimiento del sistema, así como el ahorro de energía..	141
4.3.1 Trazado Preliminar del Sistema de Ductos a Partir de un Boceto 2D del Auditorio	142
4.3.2 Realizar el modelado tridimensional del sistema de distribución de aire en SolidWorks	157
Capítulo 5. Conclusiones.....	184
Capítulo 6. Recomendaciones	187
Referencias	189
Apéndice.....	198

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Cronograma de Actividades</i>	48
Tabla 2 <i>lista de verificación aplicada al auditorio, seguida de un análisis detallado de los resultados obtenidos</i>	51
Tabla 3 <i>Qué tipo de sistema de ventilación hace uso el auditorio</i>	53
Tabla 4 <i>Cuál es el uso promedio y la capacidad total de usuarios para el auditorio</i>	54
Tabla 5 <i>Cómo se logra la renovación del aire para el auditorio</i>	54
Tabla 6 <i>Qué normas o estándares controlan el sistema de ventilación del auditorio</i>	55
Tabla 7 <i>Cuál es el consumo de energía del sistema de ventilación del auditorio y cómo se optimiza</i>	56
Tabla 8 <i>Se han evaluado problemas de calidad del aire o temperatura en el auditorio</i>	57
Tabla 9 <i>Qué técnicas se han adoptado para controlar aún más la humedad relativa y mejorar el confort térmico</i>	58
Tabla 10 <i>Qué tipo de mantenimiento se le da al sistema de ventilación y con qué frecuencia se realiza</i>	59
Tabla 11 <i>Se han implementado estrategias de eficiencia energética en el sistema de ventilación</i>	60
Tabla 12 <i>Qué más se necesita hacer para mejorar efectivamente la ventilación en el auditorio</i>	61
Tabla 13 <i>Datos con temperatura ambiente (sistema de aire acondicionado apagado)</i>	79
Tabla 14 <i>Datos con sistema de aire acondicionado activo</i>	80
Tabla 15 <i>Dimensiones comerciales seleccionadas para los ductos secundarios</i>	88
Tabla 16 <i>Tabla de Pérdidas de Presión primarias calculadas</i>	95
Tabla 17 <i>Pérdidas de Presión Secundarias calculadas para todos los ductos</i>	100
Tabla 18 <i>Cálculo de la Carga Térmica por Ocupación</i>	105
Tabla 19 <i>Comparativa Directa de los Sistemas de Refrigeración</i>	139
Tabla 20 <i>Cronograma de Instalación</i>	179
Tabla 21 <i>Estimación de Costos</i>	181

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Escuela de Bellas Artes Ocaña</i>	28
Figura 2. <i>Flujograma cálculo de aire</i>	46
Figura 3 <i>Dimensiones comerciales seleccionadas para los ductos secundarios</i>	89
Figura 4 <i>Calor Producido por las Personas Según el Grado de Actividad y las Condiciones del Espacio</i>	107
Figura 5 <i>Ganancia de Calor Debido al Equipo Misceláneo</i>	112
Figura 6 <i>Ventilador SODECA Modelo OF/EC-1663-4T-5.5-IE</i>	121
Figura 7 <i>Características Técnicas de Ventiladores SODECA Modelo PF/EC</i>	123
Figura 8 <i>Curvas Características del Ventilador SODECA PF/EC-1663-4T-5.5</i>	125
Figura 9 <i>Chiller Schneider Electric - ERCC1221A</i>	129
Figura 10 <i>Cuarto de Máquinas del Auditorio de Bellas Artes</i>	131
Figura 11 <i>Fan Coil Tipo Cassette Marca Excell</i>	132
Figura 12 <i>Corte A-A y Corte B-B del Auditorio Bellas Artes</i>	143
Figura 13 <i>Planta General – Primer Piso del Auditorio Bellas Artes</i>	144
Figura 14 <i>Boceto preliminar del trazado del sistema de ductos en el Auditorio de Bellas Artes.</i>	147
Figura 15 <i>Ubicación preliminar de los fancoils en el Auditorio Bellas Artes</i>	150
Figura 16 <i>Distribución final de los fancoils en el Auditorio Bellas Artes</i>	152
Figura 17 <i>Trazado de la red de tuberías de refrigerante para el sistema de climatización</i>	153
Figura 18 <i>Modelado 3D del Ducto Principal</i>	159
Figura 19 <i>Divisiones o derivaciones del ducto principal hacia los ramales secundarios - Modelo 3D</i>	160
Figura 20 <i>Ductos secundarios - Modelo 3D, diseñados en función del caudal individual de cada difusor</i>	162
Figura 21 <i>Codo de Ducto</i>	163
Figura 22 <i>Conjunto de Codos</i>	165
Figura 23 <i>Difusor de Techo Tipo Cuadrado</i>	166
Figura 24 <i>Detalle de Difusor de Techo</i>	167
Figura 25 <i>Ensamblaje del Ducto Principal y Secundarios</i>	168
Figura 26 <i>Ensamblaje Detallado del Ducto</i>	169
Figura 27 <i>Ajuste Final del Ensamblaje del Sistema de Ductos</i>	170
Figura 28 <i>Integración de los fancoils en el sistema de climatización</i>	173
Figura 29 <i>Posicionamiento de los fancoils y conexión con el sistema de tuberías</i>	174
Figura 30 <i>Ensamblaje completo del sistema de ventilación con fancoils</i>	175

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice 1 <i>Lista de verificación</i>	198
Apéndice 2 <i>Cuestionario</i>	199

Capítulo 1. Diseño de un sistema de circulación de aire para el acondicionamiento del auditorio de Bellas Artes en Ocaña, Norte de Santander.

1.1 Planteamiento del Problema

El Auditorio de Bellas Artes de Ocaña es un lugar fundamental para las actividades culturales, educativas y artísticas regionales de la UFPSO y la región Nordeste de Santander. Aun así, desde un punto de vista termodinámico, el sistema de ventilación actual presenta importantes fallas en términos de confort térmico, calidad del aire interior y eficiencia energética del edificio. En el caso de eventos con gran asistencia, se ha observado que la falta de disipación térmica crea un exceso de calor, además de un intercambio de aire inadecuado y una mala distribución del aire acondicionado, lo que causa incomodidad de los participantes (Instituto de Salud Geoambiental, 2020).

Según el INSST – España, (2023) afirma que la problemática radica en que el sistema vigente no cumple con los requerimientos técnicos mínimos. A falta de un caudal de aire correcto, en especial, pueden producirse valores extremos de CO₂, el aumento en la humedad y una serie de contaminantes que pondría en riesgo la salud de los usuarios. Una ventilación inadecuada no solo reduce la comodidad para el usuario, sino que también afecta la acústica de la sala y deteriora maquinaria y partes. En adición, no manejar adecuadamente el control del ventilador puede conducir a consumir recursos recuperables innecesarios y, en consecuencia, perder la viabilidad financiera del auditorio (Fisk & Rosenfeld, 1997).

Considerando las condiciones climáticas de Ocaña, que incluyen un rango de temperatura promedio de 20° C a 30° C, así como una humedad relativa del 60% durante períodos críticos, se vuelve esencial diseñar un sistema de ventilación que no solo controle la temperatura, la

humedad y la circulación del aire, que también garantiza la salud y el confort de los usuarios dentro del ecosistema del auditorio. Con esto, es posible evaluar la viabilidad del cambio del sistema de ventilación considerando la sostenibilidad técnica, económica y ambiental que tendría tal sistema a largo plazo, manteniendo la integridad requerida por el auditorio (Minambiente de Colombia & Hernández Cruz, 2016).

Seppänen y Fisk (2002) han mostrado la conexión entre la calidad del aire y el síndrome del edificio enfermo (SBS), enfatizando la necesidad de un diseño adecuado en áreas de alto volumen como el Auditorio de Bellas Artes.

Según Fisar y Premium Filters (2020), el uso de tecnologías de deshumidificación y filtración industrial puede disminuir la concentración de contaminantes en el aire, mejorando así su calidad y la experiencia de los usuarios.

Aquí, el problema más urgente es que no hay un sistema de ventilación para el auditorio. Por lo tanto, debe diseñarse un sistema mecánico para mantener la temperatura y la circulación del aire en niveles apropiados dentro del auditorio. El problema más urgente es la falta de ventilación adecuada para el auditorio. Por lo tanto, se debe diseñar un sistema mecánico para mantener niveles de temperatura adecuados y circulación de aire. Para lograr este objetivo, es necesario simplificar el diseño operativo del auditorio para mitigar las dificultades de ingeniería que probablemente surgirán debido al consumo excesivo de energía y recursos. Además, se deben cumplir la legislación nacional sobre control de calidad del aire y ventilación, salud ocupacional, protección ambiental (EPA, 2022) y las regulaciones de ISTAS-C (2019).

1.2 Formulación del problema

¿Cuáles son los criterios técnicos y las mejores soluciones de diseño para un sistema de ventilación en el Auditorio de Bellas Artes en Ocaña, Norte de Santander, que optimicen la circulación del aire, mejoren la eficiencia energética, garanticen la calidad ambiental y aseguren la viabilidad económica a largo plazo?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de ventilación eficiente para el Auditorio de Bellas Artes en Ocaña, Norte de Santander, que garantice una adecuada circulación del aire, mejorando el confort térmico.

1.3.2 Objetivos Específicos

Analizar las condiciones ambientales ideales (temperatura, humedad, velocidad del aire) mediante métodos adecuados de evaluación y monitoreo ambiental, para el confort de los usuarios y la calidad del aire en el auditorio.

Realizar los cálculos de las variables técnicas, mecánicas y térmicas del sistema de circulación de aire determinando las capacidades de ventilación y los requerimientos energéticos del nuevo sistema garantizando una climatización eficiente y sostenible, en el auditorio.

Diseñar el sistema de ductos y la red de distribución del aire, teniendo en cuenta la distribución del espacio y las necesidades específicas del auditorio, con el fin de mejorar el flujo de aire, mitigar la estancación de contaminantes y optimizar el rendimiento del sistema, así como el ahorro de energía.

1.4 Justificación

El diagnóstico de los problemas existentes con el sistema de ventilación del Auditorio de Bellas Artes en Ocaña indica que para asegurar el cumplimiento de los parámetros de circulación de aire confort correspondiente se debe implementar un nuevo sistema. El sistema actualmente existente no ofrece los cambios de aire, confort térmico y calidad ambiental necesaria para una sala con un alto nivel de uso y ocupación para eventos culturales, académicos y artísticos.

En la actualidad, el auditorio carece de un sistema de ventilación apropiado lo que provoca incomodidad térmica por el autocalentamiento, falta de aire durante los eventos de alta afluencia e, incluso, goteo de los ductos existentes hacia el escenario durante los espectáculos de gran concurrencia. Desde un enfoque técnico y legal, la necesidad de este tipo de dispositivos de ventilación está respaldada por directrices tales como las de la ASHRAE de 2009 que sugieren de 6 a 8 renovaciones de aire por hora (ACH) para auditorios y salas de conferencias. Esto permite eliminar CO₂, mantener límites seguros de temperatura y humedad, e inhibir la presencia de dañinos contaminantes para la salud del público asistente a la función.

La distribución de ocupación de sistemas en malla que requiere el rediseño de un sistema existente y modernizado que permita la distribución de aire en un ángulo de columna vertebral, permitiendo una distribución uniforme del aire, reduciendo las zonas de temperatura acumulativa que se forman sobre las columnas de asientos y garantizando un entorno cómodo para el público.

El bienestar y la productividad de los ocupantes del edificio se maximizan debido a que la ventilación efectiva del aire interior elimina contaminantes y supera la calefacción de las áreas, haciendo que la atención al público sea más saludable. Un sistema multifuncional eliminará la incomodidad por corrientes de aire y calor extremo, conservando la comodidad del usuario en períodos funcionales prolongados. En relación al esquema, el ventilador se puede

cambiar sin que se altere significativamente la obra del edificio, lo que es relevante porque el diseño modular se sostiene por los límites físicos del sistema de ventilación del auditorio (Weekes et al. 2020).

Además, la calidad del aire que se respira dentro del auditorio representa uno de los riesgos más preocupantes sobre la salud de sus ocupantes. Sundell (2004) e incluso Fisk y Rosenfeld (1997) en sus investigaciones han mostrado que la adecuada ventilación contemporánea incrementa productividad y el estado de salud mediante la reducción exposición a contaminantes. De igual forma, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2022), en su informe más reciente, subrayó particularmente el impacto de la “materia particulada” contenida en el aire sobre el tiempo cerrado que se refiere a la destrucción de la calidad del aire y el aumento de enfermedades respiratorias y cardíacas.

Al igual que la modernización del auditorio, todo lo relacionado con el sistema ODA (Organismo de Desarrollo Ambiental), trata de ejecutar la reducción de impacto en el medio ambiental y el consumo de energía. La elección de los materiales para los ductos, el diseño de los mismos, la automatización del sistema y el control total del aire acondicionado son elementos que apuntan al más efectivo ahorro energético, algo fundamental en el Auditorio de Bellas Artes. En términos sencillos, se espera que cada uno de los desarrollos y obras acometidas en la estructura del edificio propicien la reducción de los gastos operativos marcando una mejora en la huella ecológica. La integración necesitará que el Auditorio de Bellas Artes en Ocaña esté al tanto de las modernizaciones si se quiere garantizar el confort, la sostenibilidad y la eficiencia en el consumo de energía.

Por consiguiente, la necesidad de un nuevo sistema de ventilación para el Auditorio de Bellas Artes en Ocaña se basa en los hallazgos tanto de mediciones experimentales como de un

extenso análisis sobre la configuración del sistema actual. Para comenzar, se ha demostrado que el sistema de ventilación existente no cumple con los criterios de diseño necesarios para el intercambio de aire que asegure una circulación de aire efectiva y, a su vez, socava las condiciones de confort térmico y la calidad ambiental de la sala.

Las mediciones de los niveles de CO₂ durante eventos con alta ocupación han mostrado que los niveles de concentración de CO₂ superan el umbral de 1000 ppm recomendado por ASHRAE (2009), y en algunas áreas del auditorio se vuelve peligroso. Este aumento de CO₂ indica una ventilación insuficiente, lo que puede resultar en la incomodidad de los participantes en forma de cansancio, dificultad para concentrarse y un mayor riesgo de infecciones respiratorias. Desde una perspectiva de confort térmico, las condiciones en el auditorio no están equilibradas; algunas áreas están inaceptablemente calientes mientras que otras tienen corrientes de aire incómodamente frescas, lo que lleva a la incomodidad del público y resta valor a la experiencia durante los eventos.

La justificación para implementar un nuevo sistema de ventilación para el Auditorio de Bellas Artes de Ocaña proviene de un diagnóstico sistemático y unas mediciones experimentales rigurosas de las condiciones de funcionamiento del sistema. Primero que todo, se ha determinado que el sistema de ventilación existente no proporciona el aire a las zonas requeridas y, por lo tanto, no asegura la circulación del aire, lo que genera un impacto probatorio en el confort térmico y la calidad ambiental del lugar. Se ha documentado que el monitoreo de CO₂ en eventos de alta concurrencia supera la concentración de 1000 ppm que la ASHRAE (2009) establece como límite, e incluso, se ha observado que en algunas zonas del auditorio se incrementa de forma potencialmente riesgosa.

Este aumento del CO₂ evidenciado indica un sistema de ventilación insuficiente, el cual, combinado con el tiempo, puede inducir a que los asistentes experimenten fatiga, dificultades en la concentración y un incremento en la posibilidad de contagiar enfermedades respiratorias.

Premisas de circulación del aire en el auditorio indican que el confort térmico no está equilibrado, por lo que se han documentado zonas de acumulación de calor y zonas de aire desagradable en corriente. Este fenómeno hace que la experiencia durante la asistencia a los eventos no sea la óptima.

La instalación del sistema de aire acondicionado en el Auditorio de Bellas Artes, incómodo de usar, sigue funcionando, pero presenta ciertos problemas que reducen el confort térmico y la calidad de aire, sobre todo en eventos con gran afluencia de personas. El sistema de aire acondicionado de la antigua sede no asegura que el aire circule de manera técnica y eficiente, lo que conlleva a una distribución ineficiente del aire acondicionado y control deficiente de la temperatura y humedad dentro del auditorio. Esto ha causado el desarrollo de problemas de confort térmico, por ejemplo, zonas sobrecalentadas y la presencia de viento fresco a secas, además de incrementar los niveles de CO₂ y humedad que comprometen la salud y el bienestar de los asistentes. La ventilación en el auditorio es deficiente, lo que impide la correcta renovación del aire, no solo poniendo en riesgo la salud de los ocupantes, sino también la de la maquinaria y demás equipos que se encuentren en el auditorio. Por todo lo expuesto, es necesario rediseñar el sistema con la finalidad de mejorar la ventilación, control de aire y energía del edificio, reduciendo el consumo, optimizando la climatización.

1.5 Delimitaciones

Este proyecto en particular se concentrará únicamente en el diseño del sistema de ventilación para el Auditorio de Bellas Artes de Ocaña, Norte de Santander, omitiendo cualquier paso de instalación o implementación.

1.5.1 Delimitación Temporal.

Se espera que el diseño sea terminado en un plazo específico, con la intención de concretar el proyecto hacia fines de mayo.

1.5.2 Delimitación Espacial.

La propuesta se centrará únicamente en el auditorio y no se extenderá a otras áreas del edificio.

1.5.3 Delimitación de Recursos.

Considerando la falta de información disponible sobre el sistema actual, se recopilará información relevante y se utilizarán estudios previos sobre sistemas de ventilación para auditorios similares. El diseño se desarrollará basado en materiales y equipos disponibles a precios competitivos dentro de las limitaciones del presupuesto.

1.5.4 Delimitación Técnica.

El diseño se integrará con la construcción existente e incluirá sistemas de automatización avanzados. Además, el diseño incluirá programación de controladores para los sistemas de

ventilación para asegurar un rendimiento óptimo del sistema mientras se maximiza la eficiencia energética, se conservan recursos y se mejora el uso de la energía.

Capítulo 2. Marco referencial

En cuanto al diseño de sistemas de ventilación para auditorios, así como para cualquier otro proyecto que requiere rigor en acondicionamiento ambiental, es preciso tener en cuenta la información de antecedentes históricos, conceptual e incluso legal. En este orden de ideas, este capítulo trata sobre la evolución de la ventilación, primero a nivel mundial y posteriormente en el contexto colombiano, atendiendo en especial a Norte de Santander y Ocaña. En este contexto, en este capítulo se analiza las teorías pertinentes y normas jurídicas vigentes en el país, así como los principios elementales sobre ventilación.

2.1 Marco Histórico

2.1.1 Evolución de los sistemas de ventilación a nivel mundial

Desde tiempos antiguos, existe una preocupación respecto a mantener buena ventilación durante la construcción y remodelación de espacios cerrados. La calidad del aire que se respira en los espacios cerrados se ha transformado en uno de los aspectos importantes a relacionar con la necesidad de preservar un ambiente bueno, limpio y confortable para su uso. En el siglo II, Galeno (129–216 d.C.) sugirió la “mejora” de la salud del aire al proponer la quema de hojas aromáticas y perfumes con la esperanza de que cambiarían la circulación de aire dentro de las habitaciones. Estas formulaciones científicas, si bien incorrectas, fueron la base sobre las cuales se cimentaron las futuras teorías de desarrollo de ventilación (Barco, D, 2016).

De manera similar, en la arquitectura de civilizaciones antiguas como la egipcia y la griega, hay sistemas creados para el movimiento del aire a través de aberturas estratégicamente

ubicadas en los edificios que permitían el libre movimiento del aire, evitando la acumulación de calor y humedad en el interior (Mendell & Kumagai, 2017).

La industrialización, junto con el crecimiento de fábricas y la urbanización, dieron origen a nuevas manufacturas. Estas nuevas prácticas despertaron nuevas inquietudes, como la del aire en espacios interiores. A principios de 1900, Florence Nightingale fue una de las primeras en aplicar principios modernos de restauración del aire en hospitales, sosteniendo que para la recuperación era indispensable una buena circulación. Nightingale entendió que los espacios cerrados mal ventilados fomentaban la difusión de enfermedades infecciosas. Por esto, propuso la construcción de grandes ventanas y sistemas de ventilación natural en los hospitales y no en las estructuras cerradas (Barco, D, 2016).

Los eventos de la ventilación como factor de salud pública en el siglo XIX y su relación con la arquitectura hospitalaria se interrelacionan con el desarrollo de los primeros sistemas mecánicos de extracción de aire viciado mediante ventiladores manuales y de vapor, explorando así la posibilidad de usar dispositivos artificiales para el control ambiental (Seppänen & Fisk, 2006).

Tanto las tecnologías de ventilación como el aire acondicionado experimentaron saltos sustanciales en el siglo XX. Esto fue impulsado por el avance de la refrigeración mecánica, así como por la necesidad de regular la temperatura y el clima de edificios comerciales y residenciales. El moderno aire acondicionado fue inventado en 1902 por Willis Carrier, quien buscaba controlar la temperatura y la humedad de un taller de grabado en Nueva York. El aire acondicionado que utilizaba los principios de Carrier permitió que los sistemas de control climático acondicionaran espacios herméticamente sellados para crear ambientes ideales que eran posibles independientemente del clima exterior. Hubo una inversión considerable en

investigación y desarrollo tecnológico durante y después de la Segunda Guerra Mundial. Esto culminó en el desarrollo de sistemas más eficientes que comenzaron a ser adoptados en lugares de trabajo, fábricas y hogares en las décadas siguientes (Ashrae, 2020).

Durante este período, la ventilación mecánica se convirtió en una práctica estándar en la construcción de edificios altos, permitiendo que la circulación del aire se forzara a través de conductos y filtros del edificio, lo que mejoró el ambiente interior (Wargocki et al., 2017).

La crisis energética de la década de 1970 es conocida por el impacto que tuvo en el avance de los sistemas de ventilación respecto al intento de control y optimización del gasto energético y la calidad del aire interior. El diseño de edificios comenzó a incorporar avances modernos con el intento de mitigar las pérdidas de calor y el uso de aire acondicionado, por lo que se hicieron más selladas las edificaciones. También surgió el problema emergente de la acumulación de contaminantes en espacios cerrados, lo que llevó a la aparición de legislación y normas internacionales sobre la ventilación suficiente y otros ámbitos con el propósito de promover la disolución junto con la ayuda de bombas de circulación. La Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado y la Organización Mundial de la Salud son conocidas por establecer normas sobre el uso indebido de la ventilación en los edificios para los niveles de salud y confort pertinentes en el ambiente (Ashley, 2020).

En la actualidad, la inversión en investigación y el desarrollo de la inteligencia artificial y la automatización a nivel mundial, ha facilitado la creación de sistemas de ventilación automáticos que se ajustan tanto a las necesidades de los usuarios como a los parámetros de consumo energético de forma dinámica. Estos sistemas poseen la capacidad de monitorear la concentración de dióxido de carbono (CO₂), la temperatura y la humedad y mediante el control de su caudal, mantener un ambiente saludable y eficiente. Es importante mencionar que la

COVID-19 resaltó el foco de atención en la contención virus–relacionado y en su prevención a través de la ventilación. Esto resultó en el desarrollo de tecnologías altamente eficientes tales como, purificación de aire mediante filtros HEPA y desinfección de aire por radiaciones ultravioleta. Estos avances han demostrado mejorar de manera drástica la calidad del aire en espacios cerrados e incluso el riesgo de contagios, por lo que se convertirán en estándares en el diseño y construcción de edificaciones en el futuro (Morawska et al., 2021).

2.1.2 Desarrollo de sistemas de ventilación en Colombia

En Colombia, asegurar una calidad del aire interior ha llevado a políticas enfocadas en mejorar la productividad y el nivel de confort ambiental de diferentes tipos de edificios. Una de las regulaciones más importantes en este ámbito es la Norma Técnica Colombiana NTC 5183. Esta especifica los requisitos mínimos de ventilación necesarios para garantizar un nivel aceptable de calidad del aire interior. Esta norma, que se basa en marcos de citas internacionales como ANSI/ASHRAE 62:2001, establece tasas de flujo para la ventilación y el control de contaminantes, como se mencionó anteriormente, y define los estándares para cumplir con las condiciones locales. El cumplimiento de la NTC 5183 ha cambiado el enfoque de las obras de construcción y remodelación de manera considerable al fomentar la instalación de sistemas de ventilación higiénicos y eficientes en energía en edificios residenciales, comerciales e industriales (Icontec, 2018).

Dentro del Sistema Educativo, han surgido normativas que ordenan las condiciones medioambientales e infraestructurales de las instituciones educativas. La NTC 4595 expone normas sobre el planeamiento y diseño físico espacial de nuevas instalaciones escolares a nivel micro, meso y macro acompasado al incremento del servicio educativo. Dicha norma garantiza

accesibilidad, seguridad y confort, así como protección ambiental y criterios sobre la ventilación y calidad del aire en escolares, de manera que docentes y estudiantes puedan ejecutar sus labores en condiciones saludables. Se ha comprobado que el uso de la NTC 4595 aumenta el bienestar y rendimiento escolar de los alumnos en virtud de las mejores que se generan en los ambientes donde estos se desarrollan (Ministerio de Educación Nacional, 2019).

La aplicación de estas regulaciones ha acelerado la construcción de edificios más sostenibles y saludables en Colombia. Empresas especializadas, como Soler & Palau, han avanzado significativamente en el cumplimiento de las normas nacionales e internacionales en materia de conceptos de ventilación. Sus sistemas no solo mejoran la calidad del aire interior, sino que también contribuyen a la eficiencia energética del edificio. Por ejemplo, Soler & Palau ofrece un extenso catálogo de productos junto con otros materiales que ayudan a los profesionales, lo que, a su vez, simplifica la adaptación de los sistemas de ventilación para cumplir con los requisitos individuales de cada proyecto (Soler & Palau, 2020).

Los estándares internacionales como el ASHRAE 62.1 han afectado el desarrollo de proyectos de ventilación en Colombia. Este estándar determina las tasas mínimas de ventilación y otros pasos necesarios para mantener una calidad del aire interior aceptable con un impacto mínimo en la salud. Seguir estas directrices desde una perspectiva más global ha, de hecho, ayudado a Colombia, ya que son receptivas a las condiciones locales, reforzando los intentos de diseñar y construir espacios que apoyen la salud sostenible (Ashrae, 2021).

El aumento en el enfoque en la calidad del aire dentro de los edificios ha llevado al desarrollo de sistemas de monitoreo y control operativo. Estos sistemas resultan en una gestión más eficiente de la ventilación al automatizar aumentos y disminuciones en las tasas de cambio de aire basadas en la ocupación y parámetros ambientales, lo que mejora el confort y reduce los

gastos energéticos en los edificios. La implementación de estas tecnologías demuestra los esfuerzos continuos hacia la responsabilidad social corporativa y el desarrollo sostenible en Colombia (González & Ramírez, 2022).

En resumen, la construcción de sistemas de ventilación en Colombia ha avanzado considerablemente con la adopción de estándares y regulaciones internacionales. Estos esfuerzos han contribuido a la creación de espacios más saludables y amigables con el medio ambiente para las personas, mostrando un esfuerzo constante por mejorar la calidad del aire y la salud general. Empresas especializadas, así como instituciones gubernamentales y educativas, han trabajado juntas para que estos desarrollos sean viables. Esta colaboración ha establecido una base sólida para el futuro de la ventilación y la calidad del aire interior en el país de Colombia (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2023).

2.1.3 Situación de los sistemas de ventilación a nivel local.

En Ocaña, Norte de Santander, el uso de sistemas de ventilación en edificios ha estado mayormente limitado a sistemas naturales con poca o ninguna adopción de tecnología mecanizada. Este es el resultado de muchos factores, como el alto precio de los sistemas mecánicos y la falta de una cultura de construcción sostenible en la región. Aun con los avances notables a nivel global en el control y la optimización de la calidad del aire dentro de los edificios, un número considerable de estructuras en Ocaña, incluidas instituciones educativas, hospitales y auditorios, no cuenta con una ventilación adecuada que cumpla con los estándares recomendados por ASHRAE (Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado) y las regulaciones colombianas. Por lo tanto, los espacios cerrados

tienden a sufrir problemas de calidad del aire interior que podrían causar incomodidad y riesgos para la salud de los ocupantes (Ministerio de Salud y Protección Social, 2021).

La reserva forestal de Ocaña, que ha sido descrita como un “pulmón ambiental”, ha sido fundamental para la preservación de la calidad del aire en la región y del entorno más saludable para la salud de los habitantes de la zona. Sin embargo, el hecho de contar con un entorno natural favorable no asegura que los interiores de las edificaciones, especialmente en su uso intensivo, dispongan de una lógica sistema de ventilación. Normalmente, la notable dependencia de la renovación del aire mediante procedimientos naturales tiende, en la mayor parte de los casos, a la ausencia de un aire nuevo a ser ventilado, especialmente en los espacios cerrados y con gran afluencia de personas. Los interiores en Ocaña, como en muchos otros lugares, acumulan una considerable cantidad potencialmente peligrosa de dióxido de carbono (CO_2), compuestos orgánicos volátiles, junto con otros contaminantes (Martínez et al. 2020), resultando su impacto negativo en el desempeño intelectual e la salud en general de los individuos.

De los espacios que se mencionan en la vida académica y cultural en Ocaña, uno de los que constituye un problema desde la falta de eficiencia en la ventilación se trata del Auditorio de Bellas Artes. Este es cómodo y utilizado frecuentemente en eventos artísticos, cátedras, conferencias y distintas clases académicas que requieren el uso del audio visualización, lo que provoca la concentración de una sólida cantidad de personas en un espacio cerrado. La falta de un sistema de ventilación apropiado, no solo causa incomodidad, como exceso o falta de aire, sino también problemas que son en su mayoría permanentes, da como resultado problemas relacionados a los olores, incomodidad térmica y el peligro de contraer diversos tipos de enfermedades que afectan la respiración. Tales factores inciden en la evolución e interacción de los visitantes, e incluso, la usura y conservación del mobiliario y los equipos del auditorio. La

acumulación de humedad y la falta de renovación del aire puede propiciar la proliferación de organismos dañinos como hongos y bacterias (Gómez & Torres, 2022).

La ausencia de políticas locales que se aventuren a delinear los requisitos de ventilación para los edificios regionales ha estrangulado los avances hacia la mejora de los sistemas preexistentes. Situacionalmente, las regulaciones nacionales bajo la NTC 5183 que definen criterios para la ventilación, asegurando que haya al menos una calidad de aire aceptable dentro de los interiores de un edificio, han dado lugar a que la altitud no haya llevado al desarrollo de estrategias locales enfocadas en el monitoreo y control para el cumplimiento de la normativa. En consecuencia, muchos edificios industriales continúan operando atrapados en sistemas y procesos sin sistemas de ventilación tecnológica sofisticada, lo que genera preocupaciones desde el punto de vista de la salud pública, así como preocupaciones sobre la eficiencia energética (Icontec, 2018).

A pesar de las dificultades, en los últimos años se han creado esfuerzos en Ocaña orientados a impulsar el uso de tecnologías de ventilación más eficientes y sostenibles. Universidades y centros de investigación han incorporado la ventilación mecánica de sus áreas públicas, basándose en algunos modelos que han funcionado en otras ciudades del país. Según el autor, algunos edificios comerciales ahora han empezado a implementar ventilación con recuperación de calor y control de calidad del aire permitiendo un mejor control del aire que circula en el interior del edificio. Estas iniciativas constituyen los primeros pasos para tratar de modernizar la infraestructura local y el confort ambiental de los edificios en la región (Pérez & Ramírez, 2023).

2.2 Marco Contextual

El Auditorio de Bellas Artes de Ocaña es para la región una de las infraestructuras culturales más importantes, ya que en este se realizan diversos eventos académicos y artísticos, así como eventos comunitarios. Su uso por parte de las instituciones educativas del Norte de Santander es amplio, ya que incluyen agrupaciones musicales, compañías de teatro y otras organizaciones culturales y educativas. No obstante, a pesar de su importancia, el auditorio presenta problemas en su sistema de ventilación, lo que afecta en gran medida el confort de los que asisten a los eventos y la calidad de estos. La queja por el enclaustramiento de aire caliente y lo poco que este circula son problemas permanentes que afectan el confort del público y la funcionalidad del recinto para usos prolongados (Ministerio de Cultura, 2021).

La ubicación geográfica de Ocaña con temperaturas promedio de entre 20°C a 30°C y una humedad relativa del 60%, afecta de forma importante las condiciones ambientales del auditorio. Los problemas en el sistema de ventilación también traen inconvenientes para la temperatura del auditorio ya que puede sobrepasar los 32°C en los meses de más calor. Esto genera un gran problema para los que asisten y dan conferencias debido al mal confort térmico logrado. La elevada sensación térmica en espacios cerrados con circulación de aire inexistente o inadecuada puede llevar a la fatiga extrema, deshidratación e incluso afectar el nivel de energía de los artistas y oradores en el escenario. Además, la humedad relativa constante puede propiciar la proliferación de microorganismos tales como hongos y bacterias que, al deteriorar la calidad del aire interior, pueden provocar problemas respiratorios en personas vulnerables, como ancianos y niños (Ideam, 2022).

Como indicó el IDEAM (2022), la temperatura en la región de Ocaña, Norte de Santander, puede superar fácilmente los 32 °C durante el pico del verano. Dado que el clima de

la región se clasifica como cálido, el edificio está en alto riesgo de sobrecalentamiento debido a la radiación solar directa. Sin sistemas de ventilación o aislamiento térmico adecuados, el edificio se volvería excesivamente caliente.

En lugares tales como auditorios, es posible que, debido a la falta de un sistema de ventilación o refrigeración, la temperatura interior se incremente considerablemente. La falta de aire fresco que reemplace el espacio contribuye en gran medida a que el aire caliente se acumule. En el caso de que se retarde demasiado la renovación de aire, el calor que es producto de la cantidad de personas en el espacio, la cantidad de equipos electrónicos en funcionamiento (micrófonos, proyectores, etc.) y el calentamiento por radiación solar, se convierte en calor, el cual no puede escapar, por el contrario, se queda atrapado.

Como se indica en el estudio La Influencia de la Ventilación en la Temperatura de los Espacios Cerrados (González et al., 2018), la falta de sistemas de ventilación adecuados puede hacer que los espacios cerrados aumenten significativamente su temperatura por encima de 32°C, especialmente durante el tiempo caluroso.

En auditorios con alta concentración de personas, la temperatura tiende a aumentar debido a la ocupación. Cada persona al respirar, moverse o hablar, genera una cierta cantidad de calor. De igual forma, los equipos audiovisuales, tales como los micrófonos, luces o proyectores, aumentan la temperatura del espacio a sobrecalentamiento. De acuerdo a un análisis de la ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), estos espacios con alta densidad de personas y áreas con equipos electrónicos pueden sobrecalentarse de 3 a 5 °C adicionales, haciendo probable alcanzar o superar 32 °C en condiciones de calor extremos.

La humedad relativa juega un papel importante en la percepción de la temperatura. En auditorios con ventilación insuficiente, los niveles de humedad tienden a aumentar, haciendo que el espacio se sienta más sofocante para los ocupantes. En un entorno sellado con alta humedad y flujo de aire mínimo, la sensación térmica elevada puede inducir incomodidad y fatiga. Como resultado, es más probable que la temperatura en el auditorio alcance o supere los 32°C.

Como se afirma en el estudio de caso El efecto de la humedad relativa y la temperatura en la percepción térmica de los ocupantes en auditorios (Fisk & Rosenfeld, 1997), los autores argumentan que la sensación térmica en entornos sofocantes y de alta humedad con mala ventilación puede sentirse 2-3°C más alta que la temperatura real.

Aumentar la ventilación del auditorio, así como mejorar otros aspectos, ha sido y es uno de los problemas que requieren atención en su modernización. En su diseño se contemporiza su estructura, sin embargo, se omiten sistemas de renovación del aire y de extracción de calor acumulado por el uso del espacio. En el caso de eventos con gran afluencia de público o en el caso que el recinto esté a su máxima capacidad, los índices de CO₂ comienzan a sobrepasar los límites planteados con relativa rapidez, y la calidad del aire comienza a diferir causando agotamiento y somnoliento en los asistentes, entre otros. Esta problemática no solo limita el confort del público, también se puede ver afectada la acústica y la percepción sonora dentro del auditorio, debido a que el aire y la humedad caliente alteran la propagación de las ondas sonoras (Gómez & Torres, 2022).

Otro aspecto a considerar es el impacto ambiental y económico causado por el uso ineficiente de energía en el auditorio. No contar con un sistema de ventilación adecuado ha resultado en el uso excesivo de ventiladores portátiles y aires acondicionados, lo que lleva a un alto consumo de energía y elevados costos operativos. Desde una perspectiva ambiental, el uso

intensivo de estos aparatos incrementa la huella de carbono de la instalación, agravando así el calentamiento global y socavando los objetivos de sostenibilidad buscados por los organismos gubernamentales locales y nacionales. Los sistemas de ventilación controlados mecánicamente y las técnicas de control climático pasivo podrían reducir en gran medida los gastos energéticos y aumentar la productividad en el auditorio, al mismo tiempo que mejoran el confort de los participantes (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020).

En espacios de alta ocupación, la ventilación es crítica a tener en cuenta desde una perspectiva de salud pública, ya que es aún más importante durante la pandemia de COVID-19. Además de esto, la calidad del aire interior también importa. Organismos internacionales como la OMS sugieren la instalación de sistemas de ventilación adecuados para reducir el riesgo de transmisión de enfermedades respiratorias y mejorar las condiciones sanitarias de los espacios cerrados. Con esto en mente, el Auditorio de Bellas Artes de Ocaña necesita urgentemente intervención para proporcionar un entorno seguro y cómodo para todos los usuarios, cumpliendo con las pautas internacionales sobre ventilación y calidad del aire (OMS, 2021).

Por consiguiente, optimizar el sistema de ventilación del Auditorio de Bellas Artes de Ocaña continúa constituyendo un reto en lo concerniente al confort del usuario, el consumo de energía del edificio en cuestión, así como el área de salud pública el cual es crítico durante los eventos de gran afluencia de asistentes. La aplicación de medidas para la ventilación natural, junto con sistemas modernos de ventilación mecánica, permitiría la renovación del aire y mitigar los efectos nocivos relacionados con el calor y humedad del edificio. La utilización de control automatizado junto con los sensores de calidad del aire mejoraría el control del consumo de energía del edificio y por tanto haría que la instalación cultural y académica de Ocaña eche mano más fácilmente de los recursos sostenibles (Ministerio de Cultura, 2021).

Figura 1

Escuela de Bellas Artes Ocaña



Nota. (Catatumbo radio, 2025)

La Figura 1 muestra la vista frontal del Auditorio de Bellas Artes en Ocaña. Es un edificio clave en la ciudad e integra actividades culturales, académicas y artísticas importantes. Este auditorio es uno de los espacios más utilizados en la región, y hay desafíos importantes, como se analizará en las siguientes secciones, respecto al flujo de aire y el confort térmico del espacio. La imagen resalta la estructura del edificio, que es representativa del diseño arquitectónico y tiene un impacto directo en los problemas de ventilación y calidad del aire. Esta figura presenta el entorno físico del espacio donde se instalará el nuevo sistema de ventilación, que es un componente esencial para mejorar las condiciones dentro del auditorio y garantizar una experiencia agradable y saludable para los usuarios.

2.3 Marco Conceptual

El marco conceptual describe definiciones importantes que son la base de esta investigación sobre el diseño del sistema de circulación de aire para el Auditorio de Bellas Artes en Ocaña. Conocer estos conceptos facilita el desarrollo de un enfoque técnico y metodológico que garantiza que el sistema funcione correctamente.

Ventilación: La ventilación es la función de ingresar aire desde el exterior de un ambiente y de mejorar su calidad por medio de refresco natural o por el uso de dispositivos HVAC, a fin de reemplazar el aire viciado. En lugares cerrados como el Auditorio de Bellas Artes en Ocaña, una adecuada ventilación es importante porque contribuye al confort térmico e higiene del aire ya que, en ausencia de aire en movimiento, se acumulan calor y aire estancado que pueden perjudicar la experiencia de los asistentes. Igualmente, en estos sistemas, la automatización del control ayuda a optimizar el consumo energético y a mejorar la calidad ambiental (ASHRAE, 2009).

Calidad del aire interior: La Contaminación del Aire (CAI) tiene efectos sobre la salud y bienestar de los ocupantes dada su requerimiento de no exceder ciertos niveles contaminantes en la ventilación, estimados, o el oxígeno y el dióxido de carbono. En el Auditorio de Bellas Artes, la alta afluencia puede elevar tanto el CO₂ como la suspensión de partículas lo cual afecta el sueño y la concentración. Un apropiado sistema de ventilación contribuye además a mejorar la CAI, previniendo el riesgo de transmisión por aerosol en condiciones saludables para el público y los artistas (EPA, 2022).

Confort térmico: El confort térmico en un auditorio está asociado con múltiples factores que trabajan en conjunto, como la temperatura del aire, la humedad relativa y el flujo de aire. Además, ASHRAE (2009) recomienda una temperatura ambiente de 22-24°C para el

control de la humedad y la comodidad del entorno, especialmente durante reuniones prolongadas con una alta densidad de personas. El malestar y la fatiga de los asistentes pueden resultar si la temperatura supera los 26°C o cae por debajo de 20°C. Además, la humedad relativa debe mantenerse entre 40-60% para prevenir la sequedad en las vías respiratorias y cutáneas, además de la humedad excesiva que puede propiciar microorganismos peligrosos. Este rango es útil para evitar una sensación de “aire viciado” así como el malestar por exceso de humedad y calor. También hay un requisito para la correcta renovación del aire, donde en el caso de un auditorio, de 6 a 8 cambios de aire por hora (ACH) como lo indica ASHRAE (2009) es un prerequisite para asegurar una calidad del aire adecuada y limitar la acumulación de CO₂.

Para lograr el confort térmico óptimo, resulta crítico que el sistema de ventilación no solo mantenga la temperatura constante, sino que el aire sea distribuido de forma uniforme en todo el auditorio. Un sistema de ventilación correcto debe eliminar la ocurrencia de corrientes de aire frío o caliente, que pueden producir áreas de incomodidad, en particular, en las proximidades de las columnas de asientos. Los niveles de CO₂ no deben sobrepasar los 1000 ppm, si se desea mantener la salud y el bienestar de los ocupantes. Del mismo modo, se debe tener un diseño que optimice la circulación del aire, que promueva la uniformidad en la distribución y remoción de los contaminantes, con el fin de mejorar la experiencia de los usuarios. En resumen, el cumplimiento de las condiciones ideales de temperatura, humedad y ventilación no solo proporciona confort térmico, sino que contribuye a la mejora de la eficiencia energética y de la calidad ambiental, creando un entorno saludable, e incluso, grato para los asistentes y los oradores (ASHRAE, 2009).

Renovaciones de aire por hora: La renovación de aire por hora mide cuántas veces se reemplaza el aire en un volumen dado en una hora. Este indicador es crítico para mantener una

calidad del aire adecuada. Para auditorios y teatros, ASHRAE 62.1-2019 recomienda entre 6 y 8 cambios de aire por hora. En el Auditorio de Bellas Artes, el riesgo de un reabastecimiento inadecuado puede llevar a fatiga, asfixia y alteraciones significativas en la respuesta acústica del espacio. Por lo tanto, contar con un sistema de ventilación mecánica que garantice al menos 6 cambios de aire por hora es crucial para cumplir con los requisitos de los estándares de calidad ambiental y de confort del edificio (Ashrae, 2019).

Sistema de ventilación mecánica: Mediante filtros HEPA (tipo de filtro de aire de alta eficiencia) y extractores, los sistemas de ventilación mecánica regulan la circulación y el flujo de aire, permitiendo optimizar el aire y minimizar el consumo energético. En el caso del Auditorio de Bellas Artes, la ventilación natural resulta completamente inadecuada, por lo que serán necesarios la colocación de ventiladores y extractores automáticos para mejorar tanto el confort térmico como la eficiencia. También, dichos sistemas ayudan a modular la ventilación en función de la temperatura y los niveles de CO₂, adaptándose a las condiciones del espacio en tiempo real. ASHRAE (2009) sugiere que para auditorios, en condiciones de ocupación normal, los niveles de CO₂ deben permanecer por debajo de 1000 ppm. Sin embargo, durante los eventos de mayor aforo (510 personas), los niveles de CO₂ podrían superar los 1500-2000 ppm sin un sistema de ventilación adecuado. Es fundamental medir los niveles de CO₂ en máxima y mínima ocupación para garantizar que la ventilación está en óptimas condiciones, ajustándose al número de ocupantes, reduciendo el gasto energético sin comprometer la salud y confort de los asistentes (España INSST, 2023).

Eficiencia energética: La eficiencia energética se refiere al aprovechamiento adecuado de recursos energéticos para lograr una tarea o meta. Para sistemas HVAC de gran potencia, esto se logra a través del uso de equipos de alta eficiencia y sistemas automatizados, como la

ventilación de demanda controlada, que aumenta la renovación de aire en función de la ocupación de la habitación; esto también mejora la eficacia de los sistemas y el confort (Fisk & Rosenfeld, 1997). En el Auditorio de Bellas Artes de Ocaña, este factor es crítico, pues su elevado consumo energético se traduce en un alto costo operativo. La instalación de motores de control de caudal de aire, controladores de calidad del aire y sistemas de recuperación de calor posibilitará el control sostenible del consumo eléctrico (Fisk & Rosenfeld, 1997).

Humedad relativa: La humedad relativa se relaciona con la medición de vapor de agua que hay en el aire con respecto a temperatura máxima que puede sostenerse, siendo esto un determinante en la calidad del aire y confort térmico. Según la OMS, para preservar la salud en espacios cerrados, se recomienda mantener la humedad relativa entre un 40% y 60% (OMS, 2022). En el Auditorio de Bellas Artes de Ocaña, un control adecuado es esencial para la prevención de condensación en superficies frías que favorece el crecimiento de hongos, así como también niveles excesivamente bajos que pueden causar sequedad e incomodidad respiratoria. Por tanto, la implementación de deshumidificadores y sensores de humedad fomentan un ambiente adecuado durante los eventos (OMS, 2022).

Filtración de aire: La filtración de aire como proceso permite el tratamiento de aire sucio eliminando partículas contaminantes a través de filtros mecánicos o electrónicos, siendo muy requerida en espacios de alta ocupación como auditorios. Clasificación de Filtros MERV que incluye para partículas gruesas y HEPA con capacidad de captura de hasta el 99,97% de micropartículas. En el Auditorio de Bellas Artes de Ocaña se cuenta con un sistema de limpiamiento de aire, compuesto por filtros HEPA, ventilación mecánica, purificadores de aire, con ionización, los cuales garantizan aire limpio y menor propagación de infección (Pulido, 2021).

Deshumidificación: La deshumidificación controla la humedad relativa en espacios cerrados usando deshumidificadores de condensación o desecantes, evitando la condensación y el crecimiento de mohos y bacterias (Per Block et al., 2013). En el Auditorio de Bellas Artes de Ocaña, donde la humedad relativa llega hasta el 60 %, su control es fundamental para la infraestructura, la acústica y el confort térmico. La instalación de deshumidificadores industriales en el sistema de ventilación permitirá mantener equilibrio en los niveles de humedad y prevenir el deterioro estructural (Fisar, 2021).

Distribución en espina de pez: Este patrón de distribución del flujo de aire consiste en una línea principal con ramas anguladas que mejora la uniformidad de la distribución del flujo y minimiza las diferencias de temperatura dentro del sistema, optimizando así el rendimiento del soplador (Weekes et al., 2020). Aplicar esta configuración en el Auditorio de Bellas Artes de Ocaña eliminaría zonas muertas de circulación de aire, mejoraría la estratificación térmica y aumentaría el rendimiento del sistema de ventilación, lo que reduciría los costos de instalación y operación (Weekes et al., 2020).

Automatización de sistemas de ventilación: La ventilación automatizada se le asocian sensores y controles que mantienen la calidad de aire, temperatura, y humedad, en función de la ocupación y condiciones ambientales, optimizando el uso energético y confort (INSST – España, 2023). En el Auditorio de Bellas Artes de Ocaña, este control se podría aplicar a la ventilación, evitando el desperdicio de energía cuando no hay actividad y asegurando niveles óptimos durante los eventos. La inclusión de control remoto y monitoreo programable posibilitaría la realización de cambios instantáneos, lo que optimizaría la eficiencia operacional (INSST – España, 2023).

Sostenibilidad ambiental: El concepto de “sostenibilidad ambiental” hace referencia al impacto de las actividades humanas y su implementación en ecoeficientes tecnologías y materiales, especialmente en el caso de sistemas de ventilación de bajo consumo y emisiones (Hernández Cruz, 2016). Para el caso del auditorio de Bellas Artes de Ocaña, la inclusión de limpia energía, reciclables, reforzada la ventilación natural y mecánica, reduciría la dependencia de energía mecánica y por consiguiente la huella de carbono mejorando su eficiencia ecológica (Hernández Cruz, 2016).

Carga térmica: A la carga térmica de un espacio se le considera como térmica en virtud de que debe adicionarse o eliminarse calor para mantener condiciones de confort, lo que afecta la planificación y ejecución de sistemas de climatización y ventilación (Ashrae, 2009). En lo que respecta al Auditorio de Bellas Artes de Ocaña, la circulación de público y los grandes ventanales que dan a la calle, junto con la dirección del edificio y su diseño arquitectónico, aumentan la carga térmica y, por lo tanto, la demanda de energía necesaria para mantener condiciones de confort. Ashrae (2009) menciona que el uso de estrategias pasivas como el aislamiento térmico, en conjunto con un buen sistema de ventilación, podrá controlar la temperatura y el consumo energético.

Acústica en auditorios: El diseño acústico en auditorios tiene como objetivo facilitar la transmisión y absorción de sonido más eficiente en relación con la inteligibilidad del habla y la minimización del ruido distractor (Weekes et al., 2020). En el caso del Auditorio Bellas Artes de Ocaña, la calidad del sonido se ve afectada por ecos, distorsión y ruido del sistema de ventilación. La instalación de tratamiento acústico, difusores de sonido y el insonorizado de los conductos de aire garantizarán una mínima distracción y, por lo tanto, una experiencia auditiva óptima durante los eventos (Weekes et al., 2020).

Mantenimiento preventivo de sistemas de ventilación: El mantenimiento preventivo de los sistemas de ventilación implica limpieza de conductos, cambio de filtros y verificación de sensores para mantener un funcionamiento adecuado y eficiencia energética (INSST – España, 2023). En el Auditorio de Bellas Artes de Ocaña, este paso es importante para prevenir la acumulación de contaminantes y el deterioro del sistema. Se espera que la programación periódica de inspecciones y limpieza mejore la longevidad del equipo mientras garantiza un entorno seguro y un gasto energético económico (INSST – España, 2023).

2.4 Marco Teórico

Esta sección contiene las teorías relevantes que respaldan el diseño de sistemas de ventilación en auditorios de alta eficiencia.

2.4.1 Teoría de la sostenibilidad en edificaciones

Bajo esta teoría, propuesta por Hernández Cruz (2016), se argumenta que los edificios deben ser diseñados teniendo en cuenta el impacto ambiental y la gestión de recursos. Los principios de sostenibilidad relacionados a la edificación, comprenden el uso racional de energía, materiales amigables con el medio ambiente y tecnología de contención de carbono. En relación con el auditorio, esta teoría justifica los enfoques de ventilación controlable con compuertas automáticas impulsadas por unidades de ventilación que son energéticamente eficientes, pero que consumen mucha energía. Además, esta teoría desarrolla la premisa de que una ventilación eficiente no solo mejora el confort de los ocupantes, sino que reduce las incidencias de enfermedades respiratorias atribuidas a la mala calidad del aire interior (Hernández Cruz, 2016).

La relevancia de esta teoría es que ayuda a crear un enfoque equilibrado para desarrollar un sistema de ventilación para el Auditorio de Bellas Artes de Ocaña, asegurando que el diseño cumpla con los requisitos de 'eficiencia energética' y 'amigabilidad con el medio ambiente'. La aplicación de principios de sostenibilidad mejorará la conservación de los recursos naturales y evitará el calentamiento global.

2.4.2 Teoría de la termodinámica aplicada a la climatización

Esta teoría, fundamentada en los principios fundamentales de la termodinámica, sostiene que el flujo de calor y los procesos de transferencia de energía en un sistema de ventilación deben ser maximizados para garantizar una climatización eficiente del espacio. Diseñar un sistema de ventilación efectivo implica determinar los detalles específicos de la capacidad térmica del aire, la convección, térmica. Además, se subraya la importancia del equilibrio energético para el funcionamiento eficiente de los sistemas de ventilación mecánica en edificios alimentados por fuentes externas de energía para evitar gastos energéticos innecesarios y mejorar la eficiencia (Engels & Boles, 2019).

Al aplicar esta teoría en el diseño de un sistema de ventilación para el auditorio, resulta fundamental establecer con exactitud los parámetros térmicos del espacio, de modo que se cumplan los requerimientos de confort y se limiten los gastos energéticos. De esta forma se logra eficiencia energética en el diseño y optimización de recursos.

2.4.3 Teoría del confort térmico de Fanger

Fanger, en 1970, teorizó que el confort térmico puede ser visto como una percepción del entorno, de naturaleza psicológica, que trata con variables externas como la temperatura y la

humedad. Si bien mantener la calidad del aire dentro del recinto es esencial (Fanger, 1970), también se deben cumplir las pautas respecto a la velocidad del aire y el nivel de vestimenta.

En relación al auditorio, esta teoría es necesaria cuando se diseña un sistema de ventilación que garantice la confortabilidad de los usuarios. Un ambiente térmicamente confortable permite que las personas permanezcan en el espacio durante largos eventos sin incomodidad. De la misma manera, una buena ventilación, de acuerdo con esta teoría, ayuda a reducir la fatiga, deshidratación y otros efectos negativos relacionados con temperaturas inadecuadas.

2.4.4 Teoría del flujo de aire en espacios cerrados

Desarrollada por Awbi (2011), esta teoría examina el comportamiento del aire en un espacio cerrado y cómo su distribución puede ser modificada para garantizar una ventilación efectiva. Examina fenómenos como el enraizamiento aéreo, la convección y la circulación del aire dentro y alrededor de la habitación. Basado en esta teoría, el sistema de ventilación El diseño de un sistema de ventilación debe asegurar un suministro uniforme de aire para prevenir la formación de bolsillos de aire caliente o sucio (Awbi, 2011).

El auditorio se beneficia de la aplicación de esta teoría, ya que facilita la determinación del tracto de conductos, difusores y extractores que permitirán una ventilación óptima en todo el espacio. Esto ayudará a mejorar las condiciones del aire y la temperatura del espacio para los asistentes.

2.4.5 Teoría de la automatización y control en ventilación

Esta teoría, desarrollada por Arens et al. (2015), propone que los sistemas de ventilación podrían mejorarse mediante tecnologías de control de flujo automatizado que ajustan el volumen de aire en relación con la ocupación del espacio y las condiciones ambientales. La incorporación de sensores inteligentes junto con sistemas de control automatizados permite una mejor gestión del aire interior, logrando un mayor ahorro energético y un entorno interior más favorable (Arens et al., 2015).

A partir del párrafo anterior, se puede concluir que la incorporación de tecnologías de monitoreo y sistemas de control optimizará el consumo de recursos mientras garantiza la comodidad. La automatización y la teoría de control en sistemas de ventilación son esenciales para este estudio porque apoyan el diseño de un sistema de ventilación flexible adaptado a las necesidades particulares del auditorio.

2.5 Marco Legal

En Colombia, los sistemas de ventilación y el control de la calidad del aire en los espacios públicos están normados por múltiples leyes, decretos y normas técnicas que aseguran condiciones mínimas habitables de salud pública. El contexto legal es crucial para esta investigación porque incluye las normativas y restricciones sobre el aprovechamiento de obras. Cuanto menos sensible o influyente se quiere considerar una obra de construcción, como el Auditorio de Bellas Artes de Ocaña, así como la utilización de los sistemas de ventilación en edificios públicos. De cualquier tipo de edificación, en este caso un Air Handling Unit, se debe observar el conjunto de normas colombianas y del resto del mundo que velan por el bienestar, la salud y la sostenibilidad energética en la edificación.

Ley 9 de 1979: Reconocida como el Código Sanitario Nacional, destaca como uno de los marcos legales críticos en Colombia respecto a la salud pública y el control ambiental. Esta ley establece disposiciones para la preservación y mejora del medio ambiente e incluye la regulación de la calidad del aire en espacios cerrados. El Congreso de la República de Colombia menciona que “Esta Ley tiene por objeto el control de los diversos factores concomitantes a la salud en la República de Colombia, para proteger y mejorar en lo posible la salud física y mental de los habitantes del territorio nacional.” (Congreso de la República de Colombia, 1979).

Dentro del contexto de esta investigación, la Ley 9 de 1979 considera el propósito de garantizar un sistema de ventilación eficiente en el auditorio en relación con el cambio de aire y la retención de contaminantes. Además, ayuda a prevenir problemas como el síndrome del edificio enfermo, otros problemas respiratorios y establece objetivos claros que requieren una solución viable para mitigar y controlar el sufrimiento de los pacientes debido del aire interior de mala calidad.

Decreto 1076 de 2015: El decreto 1076 de 2015 integra toda la normativa ambiental vigente en Colombia, además de definir los límites de contaminación del aire en Colombia para la protección de la salud pública. Fija las concentraciones límites permisibles de contaminación del aire e indica los sistemas para el control de la calidad del aire en espacios cerrados y abiertos (Presidencia de la República de Colombia, 2015).

En este caso, el decreto justifica la elaboración de un proyecto que incluye la construcción de un sistema de ventilación que es ecológico y limita la emisión de contaminantes como material particulado, compuestos orgánicos volátiles y otros elementos nocivos. Mantener un nivel adecuado de confort para los usuarios y velar por la salud de la población se puede lograr desarrollando este sistema en el auditorio.

Resolución 2254 de 2017: De acuerdo con la Ley 2254 de Colombia de 2017, se definen los límites de las concentraciones aceptables de contaminantes en los interiores de los edificios en Colombia, incluyendo el cumplimiento de los estándares mínimos de ventilación para el edificio. Se monitorea el control de la calidad del aire en relación con el dióxido de carbono, las partículas finas y otros contaminantes que pueden ser perjudiciales para la salud de los ocupantes (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenido, 2017).

Esta resolución es pertinente para la investigación ya que justifica la importancia de incluir sistemas de ventilación de flujo de aire y un diseño eficiente de extractores para el sistema circulatorio del auditorio. Su cumplimiento garantizará que las condiciones del ambiente interior sean limpias y mitigará los impactos en la salud de los usuarios que asisten al auditorio.

Norma Técnica Colombiana NTC 5316: Enumera los requisitos para la ventilación de áreas cerradas como auditorios, con especial énfasis en renovar los cambios de aire y mitigar posibles riesgos para la salud. Esta norma, elaborada por ICONTEC, establece las pautas para el diseño de un sistema de ventilación en cuanto a su efectividad en la purificación del aire y el confort térmico de los ocupantes (Icontec, 2019).

A partir de esta norma, se da una guía en cuanto al diseño e instalación de ventilación, así como para el cumplimiento de dispositivos normativos técnicos de ventilación, cumpliendo con los requisitos de eficiencia y constructivos nacionales. Así mismo, ayuda en la selección de los dispositivos y procedimientos de movimiento de aire en el auditorio.

Norma RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas): Establece disposiciones relacionadas con la eficiencia energética de los sistemas de aire acondicionado y ventilación, fomentando así el consumo racional de energía. Su objetivo es garantizar que los

sistemas eléctricos utilizados en ventilación sean seguros y eficientes energéticamente (Ministerio de Minas y Energía, 2020).

RETIE es relevante porque garantiza que el sistema de ventilación del auditorio sea eficiente energéticamente y cumpla con las normas de seguridad eléctrica. Asegura que se cumplan estas normas debido al resto de regulaciones dadas. Las directrices establecidas ayudarán a mitigar los costos operativos y reducir los efectos ambientales del sistema de refrigeración cuando se sigan estas políticas.

Resolución 1627 de 2021: La Política de Eficiencia Energética en Ventilación y Refrigeración, que se conoce como 1627 en el año 2021, publicada en el Gobierno de Colombia, inclusive en su canal oficial de YouTube, 1630, responsable de la Energía Eléctrica y la Junta de Control para espacios públicos, establece como objetivo los espacios públicos primarios, se moderniza para trabajar con aire acondicionado en el suelo e incorporar las instalaciones contemporáneas de limpieza de ventilación programables para la purificación del aire de áreas de acceso público. Este enunciado fomenta la adquisición de maquinaria más reciente, que tiene una mejor circulación del aire y mínimamente contamina el aire en su interior (Ministerio de Salud y Protección Social, 2021).

En la investigación, esta decisión concuerda con la implementación de las estrategias de ventilación sostenible en el auditorio. Permite seleccionar sistemas de clase más alta que optimizan el funcionamiento del mismo, sin comprometer el confort térmico ni la calidad del aire en el auditorio.

Normas ASHRAE 62.1 y 55: Son normas internacionales muy relevantes en el diseño de sistemas de ventilación e ingeniería de confort térmico en edificaciones. A pesar de que no son

de carácter obligatorio para el territorio colombiano, son de vital relevancia para los referentes técnicos en relación a la salud y seguridad de los ocupantes (Ashrae, 2021).

En el marco de esta investigación, estas regulaciones proporcionan pautas adecuadas para el diseño del sistema de ventilación del auditorio teniendo en cuenta las condiciones de intercambio de aire, temperatura y humedad relativa de manera razonable.

Código de Construcción Sostenible de Colombia: El Código de Construcción Sostenible en Colombia enfatiza los lineamientos sobre eficiencia energética y control de la contaminación del aire en edificaciones tanto públicas como privadas. Promueve el uso de ventilación natural y de sistemas de ventilación híbridos para reducir el impacto ambiental de las estructuras (Ministerio de Vivienda, 2022).

La normativa en cuestión resulta relevante en un contexto investigativo, puesto que fundamenta la razonabilidad del planteamiento que busca construir un sistema de ventilación híbrido, compatible con la explotación de recursos mediante métodos de ventilación mecánica y natural, con el propósito de ahorrar energía y recursos no renovables.

Capítulo 3. Diseño metodológico

La metodología es fundamental para direccionar el curso de la investigación, conduciéndola hacia el cumplimiento de sus metas. A continuación, describiré los puntos más relevantes de esta sección, preservando la lógica y el orden que responde a tal finalidad.

3.1 Tipo de investigación

La presente investigación es una parte de una investigación aplicada con modalidad cuantitativa. En esta modalidad el análisis cuantitativo se realiza dentro de una estrategia de investigación con enfoque a problemas, donde se utiliza la informatización de procesos para recolectar y analizar información existente en base a cifras, con el objetivo de lograr resultados precisos y generalizables (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018). En este caso, el objetivo es diseñar un sistema de ventilación adecuado para el Auditorio Ocaña de Bellas Artes basándose en información técnica y normativa correspondiente.

3.2 Población y muestra

Comprender la definición de una población y una muestra es esencial para entender el alcance del estudio y asegurarse de que los datos recopilados sean representativos.

3.2.1 Población

La población objetivo de este estudio es el auditorio mayor que cuentan con sistemas de ventilación deficientes como el Auditorio de Bellas Artes en Ocaña, Norte de Santander. Esta demarcación facilita el estudio e investigación de problemas aplicados en casos de sistemas de evaluación con similares (Creswell & Creswell, 2017).

3.2.2 Muestra

Una muestra no probabilística de auditorios y espacios culturales con características similares al objeto de estudio, tales como el uso, la capacidad y condiciones climatológicas. Este caso será considerado desde un enfoque de muestreo por conveniencia donde se centrarán en aquellos que son de fácil acceso y pertinentes al fenómeno estudiado (Patton, 2015).

3.3 Diseño de instrumentos de recolección de la información y técnicas de análisis de datos

Con respecto a recolectar la información, se elaborarán asistencias de verificación (ver apéndice 1) y cuestionarios estructurados (ver apéndice 2) orientados a los responsables de la gestión de auditorios parecidos. Entre las técnicas de análisis se considerará la estadística descriptiva para la composición de la información presentada y análisis comparativo para el establecimiento de mejores prácticas y brechas (Field, 2018).

3.4 Análisis de información

La información será analizada en función de la efectividad de los ventiladores instalados en auditorios idénticos, teniendo en cuenta criterios como: la tasa de ventilación, el control de temperatura, el control de humedad y la rentabilidad. Se aplicarán métodos estadísticos apropiados a los cálculos para determinar las relaciones entre las variables y los sistemas particulares que rigen su rendimiento, con el fin de validar el diseño destinado al Auditorio de Bellas Artes ubicado en Ocaña (Miles, Huberman y Saldaña, 2014).

Para lograr un diseño efectivo del sistema de circulación de aire en el auditorio, será necesario garantizar el confort térmico, la eficiencia energética y un entorno bien acondicionado

mediante la realización de algunos cálculos fundamentales. Los cálculos se llevarán a cabo en los siguientes pasos:

Definición de condiciones de confort: Se propondrán y establecerán límites para la temperatura (20°C - 24°C), la humedad relativa (40% - 60%) y la velocidad del aire (0.1 - 0.2 m/s) basándose en normas internacionales como ASHRAE Standard 55 y ISO 7730, que regulan las condiciones térmicas para el confort humano en entornos interiores.

Elección del tipo de sistema de distribución de aire: Se seleccionará el tipo de conducto más adecuado, y se diseñará el *layout* del sistema con una configuración de "espina de montura" para maximizar la circulación de aire hacia la región auditiva del auditorio.

Determinación del caudal volumétrico del flujo del conducto y diseño del conducto: Se determinará el volumen de aire necesario basándose en la ocupación máxima del auditorio y la tasa de renovación de aire recomendada. Mientras se acomoda este caudal volumétrico, se establecerán las dimensiones adecuadas del conducto para asegurar que se eviten obstrucciones en el flujo de aire.

Evaluación de pérdidas de presión: Se identificarán las pérdidas primarias y secundarias en el sistema, considerando toda la fricción de los conductos, codos y accesorios empleados. Si es necesario, se modificará el diseño.

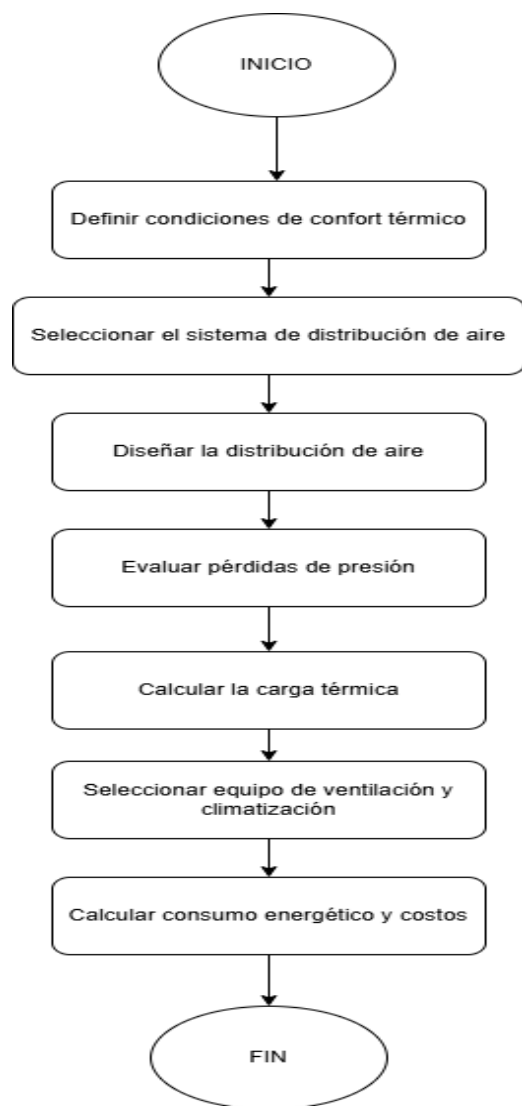
Cálculo de la carga térmica total: Se analizarán las fuentes internas y externas de calor como ocupantes, iluminación y electrodomésticos, con el fin de determinar la capacidad de refrigeración requerida utilizando ecuaciones de transferencia de calor.

Selección de sistemas de ventilación y aire acondicionado: Basándose en los cálculos previos, se seleccionarán las unidades de aire acondicionado y ventiladores apropiados, teniendo en cuenta la eficiencia energética y el cumplimiento con los requisitos térmicos.

Estimación del consumo de energía y gastos: Se calculará el consumo de energía del sistema de aire acondicionado y ventilación junto con el costo operativo para la evaluación de viabilidad económica del diseño.

Figura 2

Flujograma cálculo de aire



Nota. (Construcción propia, 2025)

Como se muestra en la Figura 2, el diagrama de flujo representa el proceso sistemático para calcular los requisitos de aire en el diseño del sistema de ventilación. Este diagrama de flujo

sirve como una clara ilustración de los pasos necesarios para lograr un sistema de ventilación funcional que cumpla con los estándares requeridos de confort térmico y eficiencia energética para el ‘Auditorio de Bellas Artes’ en Ocaña. El proceso comienza definiendo los parámetros de confort térmico, lo que ayuda a establecer la línea base para los factores ambientales y garantizar la satisfacción del usuario. Luego, se diseña el sistema de distribución de aire y su diseño para maximizar la circulación de aire a lo largo del auditorio. Se evalúan las pérdidas de presión, se calculan las cargas térmicas y se selecciona el equipo de ventilación y aire acondicionado (VAC). Se calcula el consumo de energía y los costos asociados para garantizar la efectividad, así como la sostenibilidad y eficiencia del sistema. Este proceso, que está representado en el diagrama de flujo, es vital para asegurar que el sistema no solo sea efectivo, sino también rentable y eficiente en energía.

3.5 Cronograma de actividades

El cronograma de trabajo se subdividirá en estas fases: revisión de literatura, diseño de instrumentos, recolección de datos, análisis de información y diseño de ventilación del sistema. Lograr cada fase garantizará el cumplimiento de los plazos establecidos mientras se mantiene una calidad superior en cada etapa del proceso (Kerzner, 2017).

Tabla 1*Cronograma de Actividades*

Objetivo General	Objetivos Específicos	Actividades	Tiempo Estimado
Diseñar un sistema de ventilación eficiente para el Auditorio de Bellas Artes en Ocaña, Norte de Santander, que garantice una adecuada circulación del aire, mejorando el confort térmico.	Analizar las condiciones ambientales ideales (temperatura, humedad, velocidad del aire) mediante métodos adecuados de evaluación y monitoreo ambiental, para el confort de los usuarios y la calidad del aire en el auditorio.	• Realizar mediciones en el sitio de temperatura, humedad y velocidad del aire. • Verificar regulaciones y normas de confort térmico. • Determinar requisitos específicos del auditorio.	4 semanas
	Realizar los cálculos de las variables técnicas, mecánicas y térmicas del sistema de circulación de aire determinando las capacidades de ventilación y los requerimientos energéticos del nuevo sistema para garantizar una climatización eficiente y sostenible, en el auditorio.	• Calcular la carga térmica del auditorio. • Determinar la tasa de flujo de aire requerida. • Evaluar las pérdidas por caída de presión en el sistema. • Elegir el equipo adecuado de ventilación y aire acondicionado.	6 semanas
	Diseñar el sistema de ductos y la red de distribución del aire, teniendo en cuenta la distribución del espacio y las necesidades específicas del auditorio para mejorar el flujo de aire, mitigar la estancación de contaminantes y mejorar el rendimiento del sistema y el ahorro de energía.	• Crear el diseño del layout para los conductos. • Especificar los materiales y el tamaño de los conductos. • Incorporar medidas de eficiencia energética en el diseño. • Preparar dibujos para el sistema de ventilación.	6 semanas

Nota. (Construcción propia, 2025)

En la Tabla 1, presentamos el cronograma para el diseño analítico e implementación de un sistema de ventilación eficiente para el Auditorio de Bellas Artes en Ocaña. Este esquema

propone sistematizar las actividades dentro de tres bloques: el estudio de las condiciones ambientales, los cálculos técnicos del sistema de circulación de aire y el diseño de la red de distribución de aire. Cada fase permite estimar un tiempo específico para la ejecución, lo que garantiza un desarrollo ordenado y eficiente del proyecto en la consecución de los objetivos de confort térmico y eficiencia energética del auditorio.

Capítulo 4. Resultados

En este capítulo se expone la adecuación de los resultados sobre la evaluación del sistema de ventilación y circulación de aire del Auditorio Bellas Artes de Ocaña, Norte de Santander.

Esta investigación tiene un doble propósito: verificar que el sistema propuesto para la circulación del aire no solo mejora la ventilación del espacio, sino que también asegura un uso adecuado de la energía, cumple con los criterios de confort y proporciona un ambiente saludable para los usuarios, al tiempo que apoya la eficiencia operativa de los espacios, y determinar, documentar y analizar los criterios que se pueden utilizar para mejorar los ambientes en estos importantes espacios culturales y académicos de la región. La información resultante apoyará el razonamiento para decisiones de diseño y técnicas destinadas a estos importantes espacios culturales y académicos de la región.

Análisis de la lista de verificación

Para evaluar el estado del sistema de ventilación y circulación de aire en el Auditorio Bellas Artes de Ocaña, se utilizó una lista de verificación completa que ayudó a determinar las fortalezas y debilidades en relación con el confort térmico, la calidad del aire y la eficiencia energética. Esta herramienta fue fundamental para ofrecer un diagnóstico preciso de la situación actual del sistema y, con base en esto, es posible formular recomendaciones técnicas dirigidas a fortalecer el funcionamiento del espacio mientras se garantizan condiciones adecuadas para los usuarios.

Tabla 2

lista de verificación aplicada al auditorio, seguida de un análisis detallado de los resultados obtenidos.

Criterio	Sí (X)	No (X)	Observaciones
El auditorio dispone de un sistema de ventilación activa.	X		El auditorio cuenta con un sistema de ventilación activa, aunque no está en funcionamiento óptimo.
Se lleva a cabo mantenimiento preventivo en el sistema de ventilación.		X	No se realiza un mantenimiento preventivo periódico, lo que afecta el rendimiento del sistema.
La circulación de aire respeta las reglas de control ambiental que se encuentran vigentes.		X	La circulación de aire no cumple con las normativas actuales de control ambiental, lo que podría poner en riesgo la salud de los usuarios.
La calidad del aire en el auditorio se mide a intervalos regulares.		X	No se realiza monitoreo regular de la calidad del aire, lo que dificulta la evaluación constante de las condiciones del ambiente.
Se han implementado estrategias de optimización energética.		X	No se han adoptado estrategias para la optimización energética del sistema de ventilación.
La temperatura y la humedad de un entorno determinado son monitoreadas.		X	No se tiene un sistema para el monitoreo de la temperatura y humedad en el auditorio.
Se han llevado a cabo estudios respecto a la eficacia del sistema de ventilación.		X	No se han realizado estudios técnicos sobre la eficacia del sistema de ventilación en el auditorio.
Se han detectado problemas de circulación de aire en el auditorio.	X		Existen evidentes problemas de circulación de aire, especialmente en áreas con mayor afluencia de público.
Se han realizado recientemente cambios y mejoras en el sistema de ventilación.		X	No se han implementado mejoras ni cambios recientes en el sistema, lo que limita su eficiencia.
La ventilación permite una distribución y regulación térmica apropiada y saludable para los participantes.		X	La distribución de aire no es adecuada, lo que afecta la regulación térmica y el confort de los asistentes.

Nota. (Construcción propia, 2025)

La Tabla 2 presenta una lista de verificación para la evaluación específica del sistema de ventilación del Auditorio de Bellas Artes en Ocaña, seguida de un análisis exhaustivo de los resultados pertinentes. De acuerdo con los criterios establecidos, el auditorio está equipado con un sistema de ventilación activa; sin embargo, no está funcionando en condiciones óptimas, lo que socava su efectividad. Además, se destaca la falta de mantenimiento preventivo periódico, lo que impacta directamente en el rendimiento del sistema. El flujo de aire no cumple con las regulaciones actuales de control ambiental, lo que pone en peligro la salud de los usuarios, y la medición del flujo de aire no se realiza en intervalos regulares, lo que dificulta una evaluación continua de las condiciones ambientales.

Otro hallazgo importante es la ausencia de estrategias de optimización energética que podrían mejorar la eficiencia del sistema de ventilación. Además, no hay un monitoreo adecuado de la temperatura y la humedad, lo cual es esencial para el confort térmico. Además, no se han realizado estudios técnicos sobre la efectividad de la ventilación del sistema, lo que dificulta su mejora continua. Los problemas con la circulación del aire son evidentes, particularmente en las áreas más pobladas del edificio, lo que impacta la distribución y regulación térmica en el auditorio. En conclusión, el suministro inigualable de condiciones térmicas cómodas y la falta de mejoras y ajustes recientes al sistema, junto con la mala distribución del aire, comprometen el confort de los asistentes.

Resultado del cuestionario aplicado a los auditorios (Bellas Artes, Cámara de Comercio, SENA, Cine Leonelda)

Tabla 3

Qué tipo de sistema de ventilación hace uso el auditorio

Auditorio	Tipo de Sistema de Ventilación
Auditorio Bellas Artes	Sistema de ventilación mecánica (sin mantenimiento adecuado)
Auditorio Cámara de Comercio	Sistema de ventilación natural con apoyo de ventiladores portátiles
Auditorio SENA	Sistema híbrido (mecánico y natural) con control automatizado
Auditorio Cine Leonelda	Sistema de ventilación natural con apoyo de aires acondicionados

Nota. (Construcción propia, 2025)

La Tabla 3 ilustra los diferentes tipos de sistemas de ventilación utilizados en varios auditorios, incluyendo el Auditorio de Bellas Artes en Ocaña. Este auditorio cuenta con un sistema de ventilación mecánica, aunque tiene deficiencias de ventilación debido a la falta de mantenimiento adecuado, lo que impacta el confort térmico y la calidad del aire interior del edificio. En comparación, otros auditorios como el Auditorio Cámara de Comercio y el Auditorio Cine Leonelda utilizan ventilación natural auxiliada por ventiladores portátiles o aires acondicionados, lo que indica una dependencia de soluciones más ineficientes. En contraste, el Auditorio SENA ha adoptado un enfoque más moderno mediante la implementación de un sistema híbrido que integra tanto la ventilación mecánica como la natural con control automatizado, proporcionando así un sistema más moderno y eficiente en términos de confort y diseño contemporáneo. Estos casos demuestran los diversos enfoques y la efectividad en el diseño y los sistemas de ventilación utilizados en diferentes instalaciones.

Tabla 4

Cuál es el uso promedio y la capacidad total de usuarios para el auditorio

Auditorio	Uso Promedio	Capacidad Total de Usuarios
Auditorio Bellas Artes	3-4 eventos por semana	510 personas
Auditorio Cámara de Comercio	2-3 eventos por semana	150 personas
Auditorio SENA	5 eventos por semana	200 personas
Auditorio Cine Leonelda	2-3 eventos por semana	180 personas

Nota. (Construcción propia, 2025)

La Tabla 4 indica el uso promedio semanal y la capacidad total de usuarios para varias salas de conferencias, prestando especial atención al Auditorio de Bellas Artes. Este auditorio alberga entre 3 a 4 eventos semanales, y con una capacidad total de 510 asientos, es un espacio muy solicitado y utilizado intensamente. En comparación, tanto el Auditorio Cámara de Comercio como el Auditorio Cine Leonelda tienen un uso menor con 2 a 3 eventos por semana, y una capacidad de 150 y 180 asientos, respectivamente. El Auditorio SENA tiene una mayor frecuencia de eventos, con 5 eventos por semana y una capacidad de 200 asientos. Estos datos refuerzan la necesidad de mejorar la ventilación y el confort térmico del Auditorio de Bellas Artes, considerando el nivel de ocupación y la frecuencia de uso.

Tabla 5

Cómo se logra la renovación del aire para el auditorio

Auditorio	Método de Renovación del Aire
Auditorio Bellas Artes	No hay un sistema específico de renovación del aire
Auditorio Cámara de Comercio	Ventilación natural con ventanas abiertas y ventiladores portátiles
Auditorio SENA	Sistema de ventilación mecánica con recuperación de calor
Auditorio Cine Leonelda	Renovación por ventilación natural y aire acondicionado

Nota. (Construcción propia, 2025)

La Tabla 5 presenta los métodos de renovación del aire utilizados en diferentes auditorios, incluyendo el Auditorio de Bellas Artes en Ocaña. Este auditorio actualmente no cuenta con un sistema específico de renovación de aire, lo que agrava los problemas de confort térmico y calidad del aire interior. En contraste, el Auditorio Cámara de Comercio utiliza ventilación natural, apoyada por la apertura de ventanas y ventiladores portátiles, lo que mejora parcialmente la circulación del aire, pero no es suficiente para garantizar condiciones óptimas de confort. El Auditorio SENA cuenta con un sistema de ventilación mecánica con recuperación de calor, lo que mejora la eficiencia energética al recuperar parte del calor del aire extraído y usarlo para acondicionar el aire entrante. Por último, el Auditorio Cine Leonelda emplea un sistema de renovación por ventilación natural combinado con aire acondicionado, lo que, aunque mejora la circulación del aire, depende del uso de energía adicional para mantener la temperatura adecuada. Estos ejemplos destacan las diferencias en los métodos de renovación de aire y subrayan la necesidad urgente de mejorar el sistema de ventilación en el Auditorio de Bellas Artes.

Tabla 6

Qué normas o estándares controlan el sistema de ventilación del auditorio

Auditorio	Normas o Estándares
Auditorio Bellas Artes	No se aplica un estándar específico
Auditorio Cámara de Comercio	Normas generales de ventilación (sin certificación)
Auditorio SENA	ASHRAE 62.1, NTC 5183
Auditorio Cine Leonelda	Cumple con normas locales básicas

Nota. (Construcción propia, 2025)

En la Tabla 6, se presentan las regulaciones, normas y estándares que rigen el sistema de ventilación de varios auditorios, incluida una evaluación del Auditorio Bellas Artes de Ocaña.

Este auditorio actualmente no aplica ningún referente específico para el sistema de ventilación, lo que conduce a un mal control del sistema de ventilación, calidad del aire y confort térmico. En comparación, el Auditorio Cámara de Comercio utiliza reglas generales de ventilación, pero carece de una certificación formal que impacta en la efectividad y confiabilidad del sistema. Por otro lado, el Auditorio SENA cumple con normas internacionales y nacionales como ASHRAE 62.1 y NTC 5183, que son de sistemas con ventilación eficiente y se ajustan a los estándares de salud y confort. Por último, el Auditorio Cine Leonelda cumple con estándares locales básicos que, aunque mejoran la ventilación, no ofrecen la alternativa robusta que ofrecen los estándares internacionales. Estos datos demuestran la necesidad de que el Auditorio Bellas Artes aplique referentes y sistemas de certificación específicos para mejorar el sistema de ventilación y alinearse con las mejores prácticas internacionales.

Tabla 7

Cuál es el consumo de energía del sistema de ventilación del auditorio y cómo se optimiza

Auditorio	Consumo de Energía	Método de Optimización
Auditorio Bellas Artes	Alto consumo debido a la falta de control de flujo	No se implementa ninguna optimización
Auditorio Cámara de Comercio	Bajo consumo, ventiladores portátiles	No se realiza optimización energética
Auditorio SENA	Consumo moderado	Optimización con recuperación de calor y control automático
Auditorio Cine Leonelda	Alto consumo por aire acondicionado	Uso moderado de energía con ventilación natural

Nota. (Construcción propia, 2025)

La Tabla 7 ilustra el consumo de energía relacionado con los sistemas de ventilación en diferentes auditorios, enfocándose en el Auditorio “Bellas Artes” en Ocaña. Este auditorio tiene un gasto energético relativamente alto, principalmente porque el control del flujo está mal gestionado. El alto gasto energético también es el resultado de la ausencia de medidas de

optimización. En contraste, el Auditorio “Cámara de Comercio” tiene un bajo consumo de energía debido al uso de ventiladores portátiles, aunque no hay optimización energética del sistema que podría mejorar la productividad. El auditorio “SENA”, por otro lado, tiene un gasto energético moderadamente alto debido a la optimización con recuperación de calor y control automático, aumentando así la eficiencia energética. Por último, el Auditorio “Cine Leonelda” tiene un alto consumo de energía debido al aire acondicionado, aunque su gasto energético se ve parcialmente compensado por el uso de ventilación natural.

La información demuestra claramente la necesidad inmediata de implementar soluciones de optimización energética en el Auditorio de Bellas Artes para reducir el consumo de energía y mejorar la eficiencia del sistema de ventilación.

Tabla 8

Se han evaluado problemas de calidad del aire o temperatura en el auditorio

Auditorio	Problemas de Calidad del Aire o Temperatura
Auditorio Bellas Artes	Sí, se reporta falta de aire y temperaturas elevadas
Auditorio Cámara de Comercio	No se han reportado problemas significativos
Auditorio SENA	No, el sistema monitorea la calidad del aire
Auditorio Cine Leonelda	Sí, temperaturas elevadas durante eventos grandes

Nota. (Construcción propia, 2025)

La Tabla 8 presenta los problemas relacionados con la calidad del aire y la temperatura reportados en varios auditorios, destacando los casos en los que el Auditorio de Bellas Artes enfrenta dificultades significativas. En este auditorio, se ha reportado falta de aire y temperaturas elevadas, especialmente durante eventos de alta afluencia, lo que afecta tanto el confort térmico de los asistentes como la calidad del aire interior. En comparación, el Auditorio Cámara de Comercio no ha experimentado problemas significativos relacionados con la calidad del aire ni la

temperatura, lo que indica una mayor eficiencia en su sistema de ventilación, aunque sin sistemas avanzados de monitoreo. El Auditorio SENA no presenta problemas, ya que su sistema de ventilación está equipado con monitoreo constante de la calidad del aire, lo que asegura que las condiciones internas se mantengan dentro de los parámetros óptimos. Por último, el Auditorio Cine Leonelda también enfrenta temperaturas elevadas durante grandes eventos, lo que sugiere que, aunque utiliza aire acondicionado, la capacidad del sistema puede ser insuficiente para manejar la carga térmica en eventos de alta ocupación. Estos datos subrayan la necesidad urgente de mejorar la ventilación y el control de temperatura en el Auditorio de Bellas Artes.

Tabla 9

Qué técnicas se han adoptado para controlar aún más la humedad relativa y mejorar el confort térmico

Auditorio	Técnicas Adoptadas para Control de Humedad y Confort Térmico
Auditorio Bellas Artes	No se utilizan técnicas específicas de control de humedad o confort térmico
Auditorio Cámara de Comercio	Uso de aires acondicionados para mantener la temperatura, pero sin control de humedad
Auditorio SENA	Control de humedad mediante deshumidificadores y sistemas de climatización automática
Auditorio Cine Leonelda	No se utiliza control de humedad específico; depende de la ventilación natural

Nota. (Construcción propia, 2025)

Como se muestra en la Tabla 9, se han documentado las técnicas utilizadas en los diversos auditorios para el control de la humedad relativa y para mejorar el confort térmico de los espacios. En el Auditorio de Bellas Artes, la falta de métodos específicos destinados a controlar la humedad relativa y el confort térmico contribuye al malestar de los pasajeros durante eventos de alta ocupación. Por otro lado, el Auditorio Cámara de Comercio emplea aire acondicionado para el control de la temperatura, pero no cuenta con control de humedad, lo que

representa el riesgo de incomodidad en áreas de alta humedad, alta temperatura o fluctuaciones de temperatura. El Auditorio SENA parece tener un enfoque más integral, aplicando deshumidificadores y el uso de sistemas automáticos de control climático que proporcionan un control eficiente de la humedad y la temperatura y garantizan la optimización de estas condiciones para los usuarios. Finalmente, el Auditorio Cine Leonelda se basa únicamente en la ventilación natural del aire para el control de la humedad, lo cual es inadecuado, especialmente durante condiciones climáticas extremas, eventos de alta asistencia o cuando el clima tiene menos capacidad para dominar. Con base en esto, es evidente que deben integrarse medidas destinadas al control de la humedad relativa y del confort térmico en el Auditorio de Bellas Artes para proporcionar a los usuarios un entorno más saludable y cómodo.

Tabla 10

Qué tipo de mantenimiento se le da al sistema de ventilación y con qué frecuencia se realiza

Auditorio	Tipo de Mantenimiento	Frecuencia de Mantenimiento
Auditorio Bellas Artes	No se realiza mantenimiento preventivo regular	No se realiza ningún mantenimiento preventivo
Auditorio Cámara de Comercio	Mantenimiento básico de los ventiladores portátiles	Mantenimiento irregular, según sea necesario
Auditorio SENA	Mantenimiento preventivo programado para sistemas HVAC	Mantenimiento mensual
Auditorio Cine Leonelda	Mantenimiento de aires acondicionados	Mantenimiento semestral

Nota. (Construcción propia, 2025)

La Tabla 10 muestra el tipo de mantenimiento realizado en los sistemas de ventilación en varios auditorios y subraya la disparidad en la frecuencia de mantenimiento y su calidad. En el Auditorio de Bellas Artes, no hay mantenimiento preventivo regular, lo que contribuye a los

problemas de ventilación y confort térmico mencionados anteriormente. Las prácticas de mantenimiento inadecuadas pueden obstaculizar en gran medida la eficiencia y el rendimiento del sistema, creando un ambiente incómodo para los usuarios. Por el contrario, el Auditorio de la Cámara de Comercio, proporciona algo de mantenimiento a los ventiladores portátiles; sin embargo, este mantenimiento es irregular y se realiza según sea necesario. Este enfoque no apoya el funcionamiento eficiente y continuo del sistema de ventilación. En el Auditorio SENA, hay un mantenimiento preventivo programado para los sistemas HVAC con una frecuencia mensual, lo que ayuda a garantizar un rendimiento óptimo, así como la longevidad del sistema. Finalmente, el Auditorio Cine Leonelda realiza mantenimiento semestral a los aires acondicionados, que es una práctica aceptable; sin embargo, aumentar la frecuencia de mantenimiento sería útil para asegurar un correcto funcionamiento durante todo el año de los sistemas de ventilación.

Esta información enfatiza la necesidad de establecer un programa regular de mantenimiento preventivo en el Auditorio de Bellas Artes con el propósito de aumentar el rendimiento y la eficiencia del sistema de ventilación.

Tabla 11

Se han implementado estrategias de eficiencia energética en el sistema de ventilación

Auditorio	Estrategias de Eficiencia Energética Implementadas
Auditorio Bellas Artes	No se han implementado estrategias de eficiencia energética
Auditorio Cámara de Comercio	No se implementan estrategias específicas, solo ventiladores portátiles
Auditorio SENA	Uso de sistemas de recuperación de calor y automatización para eficiencia energética
Auditorio Cine Leonelda	No se han implementado estrategias específicas de eficiencia energética

Nota. (Construcción propia, 2025)

La Tabla 11 describe las estrategias de eficiencia energética incorporadas en los sistemas de ventilación de diferentes auditorios. En el caso del Auditorio de Bellas Artes, la falta de estrategias específicas de eficiencia energética resulta en un desperdicio de energía y un aumento en los costos operativos. La ausencia de medidas de optimización energética indica una falta de atención y, de hecho, enfatiza la urgente necesidad de implementar medidas sostenibles que mejoren el rendimiento del sistema sin comprometer el confort del usuario. El Auditorio Cámara de Comercio también carece de estrategias de eficiencia energética, confiando únicamente en el uso de ventiladores portátiles, que están mal diseñados y no brindan un control adecuado sobre el uso de energía. En contraste, el Auditorio SENA implementa medidas más sofisticadas que incorporan el uso de sistemas de recuperación de calor y la automatización del sistema de ventilación, lo que reduce significativamente el consumo de energía y los costos, al tiempo que mantiene un ambiente cómodo. Por último, el Auditorio Cine Leonelda tampoco implementa estrategias de eficiencia energética, lo que proporciona a este auditorio otro aspecto donde se podrían realizar mejoras.

Estos hallazgos destacan la importancia de incorporar soluciones de eficiencia energética en el Auditorio de Bellas Artes, que, además de reducir los costos de energía, fomentaría un ambiente más sostenible y económico a largo plazo.

Tabla 12

Qué más se necesita hacer para mejorar efectivamente la ventilación en el auditorio

Auditorio	Mejoras Necesarias
Auditorio Bellas Artes	Implementar un sistema de ventilación eficiente, realizar mantenimiento regular y monitoreo de calidad del aire
Auditorio Cámara de Comercio	Instalar un sistema de ventilación mecánica más eficiente y control de calidad del aire
Auditorio SENA	Mantener el sistema actual, pero mejorar el monitoreo y la eficiencia energética
Auditorio Cine Leonelda	Mejorar la circulación de aire mediante ventiladores adicionales y optimizar el sistema de aire acondicionado

Nota. (Construcción propia, 2025)

La Tabla 12 describe las principales deficiencias que deben abordarse para mejorar los problemas de ventilación en varios auditorios, incluido el del Auditorio de Bellas Artes de Ocaña. En el caso de este auditorio, es importante contar con un sistema de ventilación bien mantenido, realizar mantenimiento regular y tener un monitoreo permanente de la calidad del aire. Estas medidas son cruciales para garantizar el bienestar de los usuarios y la salud del aire. En comparación, en el Auditorio Cámara de Comercio, es necesario implementar un sistema de ventilación mecánica más eficiente y un sistema de monitoreo de la calidad del aire, ya que la ventilación natural es insuficiente para mantener la calidad del aire. Por otro lado, el Auditorio SENA tiene un sistema que funciona bien, pero en este caso la recomendación se centra en la necesidad de mejorar el monitoreo y la eficiencia energética para optimizar el rendimiento y reducir el consumo. Finalmente, el Auditorio Cine Leonelda necesita mejorar el flujo de aire utilizando ventilación adicional, así como optimizar el aire acondicionado para la eficiencia y el confort térmico. Esta información revela las múltiples formas en que el Auditorio de Bellas Artes podría mejorar, todas las cuales requieren enfoques integrales para proporcionar soluciones multifuncionales al tiempo que garantizan un sistema de ventilación efectivo y sostenible.

4.1 Análisis de las condiciones ambientales ideales (temperatura, humedad, velocidad del aire) mediante métodos adecuados de evaluación y monitoreo ambiental, para el confort de los usuarios y la calidad del aire en el auditorio.

El estudio de las condiciones ambientales en el Auditorio de Bellas Artes de Ocaña es fundamental para asegurar el confort térmico de los usuarios y la calidad de aire del recinto. La satisfacción de contar con estos beneficios también se traduce en efectos positivos en la salud, productividad y el bienestar de las personas que utilizan estos espacios. En un auditorio con alto aforo como este, la ventilación y climatización son de suma importancia y se requiere que estos

sistemas sean versátiles y robustos para atender las distintas actividades que van desde conferencias académicas hasta presentaciones culturales y artísticas (ASHRAE, 2021).

Los criterios de control relacionados con la temperatura, humedad relativa y la velocidad del aire son importantes para el confort de los inquilinos y afectan tanto a la calidad del aire interior como a la eficiencia energética del edificio. El sistema de ventilación debe cumplir con normativas y estándares internacionales. El confort térmico posibilita que los usuarios permanezcan cómodos durante largas horas, mientras que el control en la calidad del aire interior garantiza que los contaminantes, entre ellos el dióxido de carbono (CO_2) y compuestos orgánicos volátiles (COV), se mantengan dentro de límites saludables (ISO, 2005).

Para lograr el confort térmico y la calidad del aire requerida, así como la calidad del aire dentro del 'Auditorio de Bellas Artes', es crucial tener sistemas sofisticados de evaluación y monitoreo ambiental en su lugar. Los enfoques tecnológicos eficientes requieren un control constante de procesos críticos como la medición de temperatura, humedad, velocidad del aire y calidad del aire interior. A través de la aplicación de tecnologías avanzadas modernas y monitoreo continuo, el sistema de climatización y ventilación, así como el ambiente en el auditorio, pueden ser mejorados.

Métodos de Evaluación y Monitoreo Ambiental:

Medición de Temperatura:

Termómetros de alta precisión: Se utilizan para medir la temperatura en diferentes regiones del auditorio, especialmente en áreas de ocupación crítica, para garantizar que la temperatura se mantenga en la zona de confort (20°C - 24°C). Los termómetros digitales comunes o los termómetros de resistencia (RTD) son adecuados para mediciones precisas.

Sistemas de monitoreo remoto: Se puede establecer un sistema de monitoreo en tiempo real que registre y evalúe los cambios de temperatura a lo largo del día y en relación con la ocupación del auditorio.

Medición de la Humedad Relativa:

Higrómetros digitales: Estos dispositivos de medición controlan la humedad relativa en diferentes regiones del auditorio. Para garantizar que la humedad se mantenga dentro del umbral requerido del 40%-60%, se pueden instalar higrómetros digitales en ubicaciones estratégicas como cerca de las entradas, en el escenario y en áreas de alta ocupación.

Sensores de temperatura y humedad integrados: Estos dispositivos, además de medir la temperatura, también pueden medir la humedad al mismo tiempo, ayudando así a examinar el análisis correlacional de la temperatura y la humedad en el auditorio.

Medición de Velocidad del Aire:

Anemómetros. Se utilizan para verificar la velocidad del aire en muchos puntos del auditorio sobre las áreas esperadas de flujo de aire, como los difusores y fancoils. El uso de anemómetros de hilo caliente o de Pitot proporciona medidas precisas del flujo de aire.

Medición de la velocidad y dirección del aire. Con los anemómetros se puede medir la dirección del flujo de aire, lo que ayuda a eliminar posibles áreas estancadas. Esto ayuda en la modificación del sistema para proporcionar la mejor circulación de aire posible.

Trazabilidad de la Emisión de Gases Contaminantes como el CO₂

Equipos Medidores de CO₂: Con el propósito de monitorear las concentraciones de CO₂ como indicador de la calidad de aire de un auditorio, se cuentan con monitores de CO₂ que se encuentran distribuidos en diferentes zonas del auditorio. Las normativas ASHRAE, por mencionar una, tienen explícito que el CO₂ en una habitación no debe estar más que a 1000 ppm

en niveles óptimos para la habitabilidad y salud de los habitantes. Contar con un sistema de supervigilancia para el monitoreo a tiempo real y acumulación de CO₂ es indispensable.

Los monitores de partículas finas PM2.5 y PM10: Estos también sirven para diagnóstico de calidad del aire, ya que pueden detectar contaminantes en forma de partículas como el polvo, el humo, y los aerosoles, que son perjudiciales para la salud respiratoria de los habitantes.

Análisis y Modelado de Confort Térmico:

Índices PMV y PPD. PMV significa Voto Medio Predicho. PMV es un modelo matemático utilizado para estimar la respuesta térmica promedio de un grupo de individuos en relación con ciertas condiciones ambientales. Se utiliza junto con PPD (Porcentaje Predicho de Insatisfechos), que predice el porcentaje de insatisfacción para aquellos dentro de las condiciones dadas. Ambos modelos PMV y PPD son útiles para modificar las estrategias de control del equipo de aire acondicionado con el fin de lograr un mayor nivel de confort para las personas que utilizan el espacio.

Simulación térmica y análisis CFD (Dinámica de Fluidos Computacional): Estos métodos permiten modelar y simular el flujo de aire dentro del auditorio, ayudando a prever cómo se distribuirán la temperatura y la humedad en todo el espacio, y cómo los cambios en el sistema de ventilación influirán en el confort térmico.

Monitoreo y Reporte Continuo de Datos:

Sistemas de monitoreo en tiempo real: La integración de sensores de temperatura, humedad, flujo de aire, CO₂ y materia particulada en un sistema de red central que transmite datos a una plataforma de monitoreo permite el análisis en tiempo real y ajustes del sistema en función del cambio de las condiciones ambientales.

Software de gestión ambiental: Se debe utilizar una plataforma de software que recoja y analice los datos de los sensores para generar informes automatizados sobre las condiciones ambientales, así como sobre el rendimiento del sistema de ventilación.

Para alcanzar estas metas, resulta fundamental disponer de un sistema de ventilación que no únicamente mantenga los parámetros requeridos dentro de unos límites preestablecidos, sino que los minimice en términos de gasto energético y contribuya a la sostenibilidad del edificio. Normas internacionales como ASHRAE 55 y la ISO 7730 ofrecen guías precisas sobre los rangos de temperatura y humedad que aseguran un bienestar integral, controlando la velocidad del aire para prevenir molestias térmicas de corriente fría o cálida (ASHRAE, 2009).

En este análisis del sistema de ventilación se sugerirán mejoras normativas sobre la temperatura, humedad, y velocidad del aire en el auditorio, así como las condiciones actuales del sistema. Se también se evaluarán las implicaciones que estos parámetros generan sobre la calidad del aire y salud de los usuarios, asegurando que El Auditorio de Bellas Artes no solo ofrezca un entorno confortable, sino que garantice estándares ambientales (EPA, 2022).

En este objetivo, se centra en determinar los métodos para evaluar la situación y recomendar medidas para mejorar el sistema de climatización (HVAC) a fin de mantener y optimizar su rendimiento, mejorar la calidad del aire interior y reducir el consumo de energía, aspectos esenciales para el correcto funcionamiento del auditorio y la sostenibilidad a largo plazo del proyecto, según las normas ISO (2005) y ASHRAE (2021). Estos modelos requieren la optimización del auditorio en cuanto a climatización, ventilación y parámetros que garanticen su buen funcionamiento.

4.1.1 Definir los rangos óptimos de temperatura, humedad y velocidad del aire para el confort térmico en el auditorio

El confort térmico, junto con la calidad del aire, son componentes esenciales para proporcionar una experiencia satisfactoria y saludable al público del Auditorio de Bellas Artes de Ocaña. Para alcanzar estas condiciones, es indispensable definir valores óptimos de temperatura, humedad relativa y velocidad del aire, así como observar las regulaciones internacionales que normalizan dichos límites en espacios cerrados con aforos significativos, tales como auditorio.

Como se describe en ASHRAE 55 (2021) e ISO 7730 (2005), las normas internacionales definen parámetros situacionales específicos e ideales que garantizan entornos que permitan el confort térmico de los ocupantes. Estas normas consideran la biometría humana termoperceptiva, que incluye el análisis de la actividad física, la vestimenta y los atributos espaciales. A continuación, se presentan los rangos ideales para cada parámetro:

Temperatura del aire: Según ASHRAE (2021) recomienda mantener las temperaturas entre 20 y 25 °C para asegurar el confort de la mayoría de los usuarios. Esta fomentada temperatura es ideal para auditorios donde los asistentes exclusivamente sedentarios. La temperatura no debe fluctuar durante el evento con el fin de no perturbar la concentración y la comodidad del público.

Humedad relativa: Se establece que el rango óptimo de humedad relativa en espacios cerrados debe estar entre 30% y 60% (ASHRAE, 2021). Con estos niveles se previenen efectos incómodos múltiples asociados al aire seco, incluyendo resequedad respiratoria, así como evita que el aire húmedo en exceso genere una sensación sofocante. También, se disminuye la probabilidad de proliferación de microorganismos patógenos que pueden resultar dañinos para los asistentes.

Velocidad del aire: La velocidad del aire desempeña un papel crítico en el confort térmico de los usuarios, en especial en auditorios donde la distribución del aire debe ser uniforme. No se recomienda sobrepasar los 0,15 m/s de velocidad del aire en temperaturas inferiores a 22,5°C, con el propósito de evitar que los usuarios sientan corrientes de aire incómodas (ISO, 2005). No obstante, en condiciones de calor, esta restricción puede ser más laxa, ya que la sensación de calor aumenta. Es esencial que la temperatura no esté estratificada, evitando el exceso de calor o frío.

Es significativo señalar que estos rangos son solo valores guía, además el atuendo de los participantes, su grado de movilización, y las particularidades del auditorio pueden cambiar las condiciones óptimas. En relación al Auditorio de Bellas Artes, el aforo máximo de 510 personas combinado con el clima externo de Ocaña, con temperaturas promedio de entre 25 a 30 grados centígrados, son condiciones suplementarias que deben ser consideradas para el diseño de un sistema de climatización adecuado.

Determinación de los factores que afectan el confort térmico

Identificar las variables cambiantes en cuanto a la calidad del aire y el confort térmico requiere varias evaluaciones:

Ocupación del Auditorio: El auditorio, que se utiliza para actividades académicas y culturales, así como para conferencias, tiene un foro máximo de 510 personas. Esto genera una significativa carga térmica interna, en especial durante su uso intensivo, lo que influye en los condicionantes de temperatura y en la calidad del aire (ASHRAE, 2021).

Tipo de Vestimenta Esperada: En un entorno como el de la Universidad de Ocaña, es habitual que los estudiantes lleven prendas más ligeras y no tan formales. Esto podría flexibilizar

la tolerancia a un rango térmico más fresco. Esto debe ser tomado en cuenta para fijar los límites de confort térmico de los usuarios.

Condiciones Climáticas Externas: El municipio de Ocaña presenta un clima cálido, que oscila entre los 25 y 30 grados centígrados. Por consiguiente, para resguardar el confort del auditorio, es fundamental aplicar sistemas de aislamiento térmico, ventilación adecuada y refrigeración eficaz para impedir la acumulación de calor. Esto asegura el bienestar de los usuarios, sin importar las condiciones climáticas externas (ISO, 2005).

Duración Promedio de los Eventos: Los eventos que se llevan a cabo en el auditorio tienen una duración aproximada de 1 a 3 horas. No obstante, algunas actividades académicas y conferencias extendidas pueden llegar a tener una duración de hasta 4 a 8 horas. Debido a esto, el sistema de climatización tiene que asegurar condiciones óptimas y estables por mucho tiempo sin cambios bruscos de temperatura o humedad.

Definición de los rangos óptimos

Temperatura recomendada: 20°C - 24°C: Esta gama garantiza el confort térmico en espacios cerrados concurridos, minimizando el calor o el frío extremos. Esto contribuye a la concentración de todos los asistentes. Esta gama cumple con las recomendaciones de ASHRAE 55 e ISO 7730.

Humedad Relativa Óptima: 40% - 60%: Este rango ayuda a prevenir el aire seco que puede causar incomodidad y problemas respiratorios, además de evitar una humedad excesiva que genera una sensación de bochorno. Mantener la humedad relativa dentro de este rango mejora tanto el confort térmico como la calidad del aire.

Velocidad ideal del aire: 0,1 - 0,2 m/s: Trabajar dentro de estos valores garantizará una circulación de aire eficaz sin crear corrientes de aire indeseables. Para eventos prolongados, la

velocidad del aire no debe superar los 0,15 m/s. A temperaturas más altas, 0,2 m/s puede ser aceptable para mejorar el confort térmico.

Configuración del Sistema de Ventilación y Climatización

Con referencia a los rangos óptimos de temperatura, humedad y velocidad del aire, se debe considerar en el diseño del sistema de ventilación y climatización del Auditorio de Bellas Artes lo siguiente:

Renovación del aire y control de CO₂: El literario sugiere un mínimo de 6 ACH (cambios de aire por hora) para la renovación del aire con el fin de asegurar una buena calidad del aire (ASHRAE, 2021). Usar sensores de CO₂ permitirá controlar el flujo de ventilación en cuenta la ocupación.

Distribución del aire: Un diseño tipo espina de pescado para los conductos contribuirá a que el aire se distribuya uniformemente evitando la formación de zonas de aire estancado y corrientes desagradables. Los difusores de techo deben ser colocados en lugares estratégicos para garantizar una buena distribución y cumplimiento.

Control de temperatura y humedad: Para mantener la temperatura en el rango cumpliendo con el estándar, se debe usar un aire acondicionado para mantener la temperatura deseada. Además, el flujo de aire debe ser moderado en torno a la ocupación de la sala. Si el porcentaje de humedad financiera en el espacio supera el 60%, entonces hay que colocar deshumidificadores, por otro lado, si está por debajo del 40% hay que considerar sistemas de humidificación.

Velocidad del aire y confort térmico: La velocidad del aire en la zona ocupada de una habitación no debe superar los 0,2 m/s. Si la habitación cuenta con ventilación de impulsión, es fundamental que la velocidad del aire en las salidas no genere corrientes de aire incómodas.

El sistema de ventilación requiere un diseño que contemple los rangos óptimos de temperatura, humedad y velocidad del aire, considerando el bienestar térmico y la calidad del aire dentro del auditorio, cumpliendo con las normativas internacionales ASHRAE e ISO. También se debe considerar la cantidad de personas que asisten al auditorio, las condiciones externas y la duración del evento. Controlar adecuadamente la climatización y la ventilación permite ofrecer un ambiente saludable para los usuarios, además de optimizar el consumo energético y reducir el impacto ambiental.

4.1.2 Identificar factores que influyen la calidad del aire (Ocupación, ventilación, materiales del espacio).

Estudiar los elementos que influyen sobre la calidad del aire en el Auditorio de Bellas Artes de Ocaña es útil para asegurarse de que se brinde un área que sea saludable y confortable para todos sus asistentes. La calidad del aire se concentra en varios aspectos, los cuales incluyen la ocupación de la sala, el espacio físico y los recursos de construcción que se emplearon. Cada uno de estos aspectos produce una influencia directa sobre los niveles de contaminación, confort térmico y la salubridad de los ocupantes.

Impacto de la ocupación del auditorio en la calidad del aire

Generación de CO₂: El dióxido de carbono (CO₂) es un gas generado durante la respiración humana y su concentración aumenta con la presencia de más personas en un espacio confinado. Cuando el auditorio está lleno, la acumulación de CO₂ puede superar las 1000 ppm (partes por millón), lo que afecta la calidad del aire y, por consiguiente, la comodidad de los usuarios. Las concentraciones elevadas de CO₂ pueden provocar fatiga y somnolencia, así como somnolencia inducida, y dificultades de concentración, especialmente durante eventos

prolongados. Para evitar estos problemas, es fundamental una ventilación adecuada, así como un flujo de aire, circulación e intercambio dentro del espacio (ASHRAE, 2021).

Humedad relativa: La presencia de personas en un auditorio también aumenta el nivel de humedad en la sala debido a la transpiración y la exhalación. Si la humedad relativa supera el 60 % HR, favorecerá la proliferación de moho y bacterias, deteriorando así la calidad del aire y la salud respiratoria de los ocupantes (ASHRAE 62.1, 2021). Una humedad relativa excesiva también puede causar congestión y aumentar el riesgo de irritación de las vías respiratorias.

Carga de partículas y olores: En ambientes con aforo alto, el polvo, las células dérmicas y el cabello aumentan la concentración de partículas en el aire, lo que contamina el aire que se respira. La falta de circulación de aire, además de la acumulación de olores, puede generar molestias si no se dispone de un sistema eficiente de ventilación. Esto puede ser perjudicial para la salud de los ocupantes.

Soluciones para mantener la calidad del aire con alta ocupación

Control del CO₂ y ventilación adecuada: Para evitar la acumulación de CO₂, es necesario implementar un sistema de ventilación mecánica con un mínimo de 6 ACH (renovaciones de aire por hora). Esto permite una adecuada renovación del aire y mantiene los niveles de CO₂ dentro de límites aceptables. La instalación de sensores de CO₂ también es útil para modular automáticamente el flujo de aire en función de la ocupación del auditorio (ASHRAE, 2021).

Control de humedad: Es fundamental mantener la humedad relativa entre los 40% y 60% para evitar problemas de salud. En caso de que la humedad supere el 60%, se sugiere el uso de deshumidificadores para fin de controlar el crecimiento de microorganismos (ISO 7730,

2005). Igualmente, es necesario controlar la temperatura para evitar la condensación en superficies frías.

Filtración y purificación del aire: Es fundamental contar con filtros de alta eficiencia, como MERV 13 o superior, en el sistema de ventilación. Estos filtros pueden capturar partículas finas, ácaros del polvo y alérgenos, mejorando la calidad del aire y reduciendo el riesgo de enfermedades respiratorias (ASHRAE 62.1, 2021).

Distribución del aire mejorada: Para una distribución uniforme del aire, se debe evitar la formación de zonas muertas donde se estanca. El diseño adecuado de difusores y extractores es clave para lograr un flujo de aire equilibrado, que garantiza que el aire limpio entre en las zonas ocupadas y que el aire viciado se descargue eficazmente. Con un buen diseño, no se producirá acumulación de calor ni contaminación en ciertas zonas del auditorio.

Evaluación de la ventilación y su impacto en la calidad del aire

Capacidad de renovación del aire: La renovación del aire, medida en ACH (cambios de aire por hora), es un parámetro imprescindible en los auditorios para asegurar una buena ventilación. De acuerdo a ASHRAE 62.1 (2021), la velocidad de extracción mínima recomendada para auditorios es de 6 ACH. Esto permite mantener la concentración de CO₂ y otros contaminantes a un nivel aceptable dentro del recinto.

Distribución del aire en el auditorio: La ubicación de difusores y extractores en el auditorio afecta directamente la uniformidad de la ventilación. Es esencial evitar zonas estancadas donde el aire se vuelve estancado y pierde su calidad. El diseño de la ventilación debe estar correctamente equilibrado para asegurar que el aire limpio llegue a cada rincón del auditorio mientras se eliminan de manera eficiente los contaminantes.

Evaluación de los materiales del espacio y su impacto en la calidad del aire

acumulación de polvo y partículas: Las superficies porosas como alfombras, cortinas y tapicería pueden acumular polvo, ácaros y otros contaminantes, afectando así la calidad del aire. Se aconseja seleccionar materiales que sean simples de limpiar y que no promuevan la acumulación de partículas en el aire. Esto ayuda a mantener la limpieza y la salud del espacio para los ocupantes del auditorio (ASHRAE, 2021).

Humedad y crecimiento de moho: Susceptible al crecimiento de hongos y mohos, la humedad puede ser absorbida por la madera, yeso y algunos tipos de paneles. Además de perjudicar la calidad del aire, esto puede dañar la infraestructura del auditorio. Para la salud de los ocupantes es necesario evitar la proliferación de microorganismos, lo cual se logra controlando los niveles de humedad y asegurando una buena ventilación (ISO 7730, 2005).

En el auditorio de Bellas Artes de Ocaña, aspectos como la ocupación del espacio, la ventilación y los materiales empleados en su construcción influyen en el confort y la salud de los usuarios. Es fundamental utilizar soluciones que optimicen la renovación del aire, controlen la humectación, ya la vez emplee materiales que reduzcan la acumulación de partículas y microorganismos. El cumplimiento de ASHRAE 62.1 (2021) e ISO 7730 (2005) asegura ambientes saludables, confortables y satisfactorios lo que, en el caso del auditorio, aumenta la calidad de la experiencia de los asistentes y la eficiencia del sistema de ventilación.

4.1.3 Revisar normativas y estándares de confort térmico y calidad del aire

Con el fin de garantizar un ambiente adecuado en el Auditorio de Bellas Artes de Ocaña, es necesario evaluar el cumplimiento de las normas internacionales y locales relacionadas con el confort térmico y la ventilación. Tales regulaciones establecen límites claros que garantizan la

salud y seguridad de los ocupantes, así como la eficiencia energética y sostenibilidad de los sistemas de acondicionamiento y ventilación utilizados.

Normativas internacionales de confort térmico

Los estándares internacionales definen los criterios que deben cumplirse por los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) de espacios cerrados como auditorios para garantizar el confort térmico de los ocupantes.

ASHRAE 55 (Condiciones ambientales térmicas para la ocupación humana): Este estándar especifica los rangos aceptables de temperatura, humedad y velocidad del aire para lograr un confort térmico efectivo. Según ASHRAE 55 (2021), la temperatura operativa en espacios ocupados debe mantenerse dentro de un rango de 20°C a 26°C, teniendo en cuenta los niveles de vestimenta y la naturaleza de la actividad. Para evaluar la percepción térmica, ASHRAE propone los modelos PMV y PPD, conocidos como Voto Medio Predictivo y Porcentaje Predictivo de Insatisfechos, respectivamente, que proporcionan estimaciones sobre los niveles de confort térmico de los usuarios.

ISO 7730 (Ergonomía del medio térmico): Se basa en los mismos principios de los índices PMV y PPD de ASHRAE 55; esta norma se centra más en las matemáticas y el modelado del confort térmico (ISO, 2005). En cuanto al diseño de los sistemas de climatización para estar en concordancia con el nivel de actividad y la vestimenta de los ocupantes, ISO 7730 proporciona criterios que son muy útiles en lugares con ocupación variable, como las aulas universitarias.

EN 16798-1 (Desempeño energético de los edificios - parámetros de entrada del ambiente interior): Como se indica en la referencia, la norma clasifica los niveles de confort térmico en cuatro categorías (I, II, III, IV) y sugiere una temperatura de 22°C a 24°C con una

humedad relativa del 40% al 60% para su uso en auditorios y salas de conferencias. También define criterios para el movimiento del aire y la tasa de ventilación en función del nivel de ocupación del espacio, lo cual es crítico para mantener una atmósfera agradable y saludable (EN, 2019).

Normativas internacionales de calidad del aire interior

Los estándares de calidad del aire regulan que la contaminación sea nula y el espacio a renovar esté sanamente limpio y aireado, lo cual es fundamental para la salud y confort de los ocupantes.

ASHRAE 62.1 (Ventilación para una calidad de aire interior aceptable): Esta norma establece los requisitos mínimos de ventilación atendiendo a la ocupación y actividad de cada espacio. Para auditorios sugiere una tasa mínima de ventilación de 5 a 7.5 L/s por persona, asegurando así un recambio adecuado. Asimismo, ASHRAE 62.1 regula la concentración de CO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, COV, entre otros contaminantes volumétricos e invisibles (ASHRAE, 2021).

Organización Mundial de la Salud (OMS): La OMS establece niveles máximos permisibles de contaminantes del aire interior. Según la OMS (2021), la concentración permitida de CO₂ en áreas habitadas no debe exceder los 1000 ppm; Además, el nivel de PM_{2.5} no debe exceder los 10 µg/m³ como promedio anual. Además, se aconseja mantener la humedad relativa entre el 40% y el 60% para prevenir el crecimiento de moho y bacterias, manteniendo así la salud de los ocupantes, así como la calidad del aire interior.

Agencia de protección ambiental de EE.UU. UU. (EPA): La EPA sugiere que los sistemas de ventilación para espacios cerrados utilicen filtros MERV 13 o superiores para capturar partículas finas. Además, se recomienda la instalación de sensores de calidad del aire

para monitorear CO₂, materia particulada y COV en tiempo real para el control continuo de la calidad del aire en el auditorio (EPA, 2020).

Aplicación al auditorio: Con respecto al Auditorio Bellas Artes, se sugiere utilizar filtros MERV 13 o superiores para el sistema de ventilación con el fin de capturar partículas de contaminantes, manteniendo la humedad entre el 40% y el 60%. Además, la instalación de sensores de calidad del aire permitirá el monitoreo en tiempo real del CO₂ y otros contaminantes, asegurando un ambiente saludable.

Normativas locales aplicables en Colombia

Al igual que con las regulaciones internacionales, también se deben considerar las normas locales para cumplir con los requisitos de confort térmico y estándares de calidad del aire.

NTC 5316 (Calidad del aire interior en edificios): Esta norma regula la concentración máxima permitida de contaminantes en espacios cerrados y establece los niveles permisibles de CO₂, PM₁₀, PM_{2.5} y compuestos orgánicos volátiles (COV) por metro cúbico. Además, exige que los espacios cuenten con sistemas de ventilación que eviten la acumulación de contaminantes (ICONTEC, 2017).

RETILAP (Reglamento técnico de instalaciones térmicas en Colombia): RETILAP regula el diseño, instalación y mantenimiento de sistemas de aire acondicionado y ventilación. Ha definido la eficiencia energética general, la seguridad y el confort térmico como requisitos mínimos de rendimiento, y se espera que los sistemas HVAC cumplan con las normas internacionales ASHRAE 55 y 62.1 y la regulación local NTC 5316.

Resolución 2254 de 2017 (Minambiente): Esta resolución establece los límites permisibles de contaminación interior y promueve el uso de tecnologías eficientes para una

ventilación adecuada. También sugiere el uso de sensores de calidad del aire en edificios de alta ocupación (MinAmbiente, 2017).

Aplicación al auditorio: El sistema de ventilación y control climático del Auditorio de Bellas Artes debe observar los límites de CO₂ y otros contaminantes según lo especificado en la NTC 5316. Asimismo, se deben seguir las directrices de RETILAP en lo que respecta al confort térmico y la eficiencia del sistema de control climático, y el monitoreo continuo de la calidad del aire se alinea con la Resolución 2254.

4.1.4 Diagnóstico del sistema actual frente a estándares de confort térmico y calidad del aire

El diagnóstico actual del sistema de climatización emitido para el “Auditorio de Bellas Artes” revela una serie de brechas críticas que impactan el confort térmico y la calidad del aire en el espacio. Estos problemas han sido diagnosticados a través de mediciones y un análisis comparativo contra estándares internacionales de confort térmico y calidad del aire. El análisis resalta el hecho de que el sistema en uso es incapaz de mantener condiciones válidas para el confort de los usuarios, lo que genera incomodidad y reduce la eficiencia operativa del sistema.

Mediciones de temperatura y humedad

Para evaluar el rendimiento del sistema, se realizaron mediciones de temperatura y humedad relativa bajo dos condiciones: con el sistema de aire acondicionado apagado y con él encendido. Los datos obtenidos de estas mediciones permiten un análisis exhaustivo de las deficiencias del sistema, así como su capacidad para cumplir con los requisitos de confort térmico.

Tabla 13

Datos con temperatura ambiente (sistema de aire acondicionado apagado)

Datos con la temperatura Ambiente				
Datos tomados con aforo medio (Los AC no fueron encendidos)				
Hora	4:00 p. m.	4:30 p. m.	5:00 p. m.	5:30 p. m.
Temperatura	27,35 °C	27,11 °C	27,11 °C	27,11 °C
Humedad	63%	63,79%	63,64%	62,61%

Nota. (Construcción propia, 2025)

La Tabla 13 muestra los datos de temperatura ambiente registrados en el Auditorio de Bellas Artes con el sistema de aire acondicionado apagado durante una ocupación moderada. La recolección de datos se realizó de 4 a 5:30 p.m. en intervalos de 30 minutos. Durante el período de medición, la temperatura se mantuvo relativamente estable, fluctuando entre 27,11 °C y 27,35 °C. Este rango es bastante cálido para un auditorio sin un sistema de aire acondicionado en funcionamiento. La humedad relativa también se mantuvo estable, en valores moderados cercanos al 63%. Aunque no es extremadamente alta, esto puede contribuir a una sensación de incomodidad térmica, especialmente en combinación con temperaturas elevadas. Estos datos destacan la necesidad de un sistema de ventilación eficiente que no solo garantice el confort de los usuarios, sino que también regule la temperatura y la humedad.

Tabla 14*Datos con sistema de aire acondicionado activo*

Datos sistema Activo										
75% del aforo		Menos personas	Mitad del aforo	Comienza a llegar más personas de nuevo	Auditorio casi lleno, sobre el 90% de aforo					
Hora	2:30 p. m.	3:00 p. m.	3:30 p. m.	4:00 p. m.	4:30 p. m.	5:00 p. m.	5:15 p. m.	5:30 p. m.	5:40 p. m.	6:00 p. m.
Temperatura	25,8 °C	25,79 °C	26,74 °C	25,8 °C	25,6 °C	25,27 °C	25,8 °C	24,85 °C	25,42 °C	25,74 °C
Humedad	65,00 %	64,70 %	60,74 %	59,79%	60,25 %	65,13 %	69,16 %	67,85 %	71,66 %	70,08 %

Nota. (Construcción propia, 2025)

La Tabla 14 contiene los datos de temperatura y humedad registrados en el auditorio de Bellas Artes mientras el sistema de aire acondicionado estaba activo, durante un evento con niveles de ocupación variables del auditorio. Los datos muestran cómo las condiciones ambientales cambian a lo largo del día dependiendo del número de personas en el espacio. Al inicio del evento, con un 75% de ocupación, la temperatura estaba entre 25.8 y 25.79 °C con una humedad relativa del 65%. A medida que más personas entraban al auditorio, la temperatura aumentó lentamente, alcanzando 26.74 °C a las 3:30 pm, con una humedad relativa del 60.74%. Sin embargo, en el auditorio casi lleno, a las 6:00 pm, mientras la temperatura se mantuvo constante en 25.74 °C, la humedad subió al 70.08%. Esto indica que había una mayor carga térmica interna debido a la ocupación. Estos resultados ilustran que, aunque el sistema de aire acondicionado está en funcionamiento, aún hay problemas con el sistema para mantener niveles ideales de confort térmico, particularmente durante niveles altos de ocupación y humedad, lo que

indica la necesidad de mejorar el sistema de ventilación y control ambiental para proporcionar condiciones más cómodas y saludables para los asistentes.

Diagnóstico

Con base en las mediciones obtenidas y las observaciones realizadas, se identifican los siguientes aspectos clave respecto al sistema de climatización:

Ineficiencia térmica del sistema actual: El sistema no mantiene las temperaturas dentro del rango recomendado. Incluso con el aire acondicionado encendido, las condiciones ambientales siguen superando el rango óptimo de 22 °C a 24 °C, definido por ASHRAE 55 (2021) e ISO 7730 (2005).

Incumplimiento de la normativa de confort térmico: Tanto la temperatura como la humedad superan los valores establecidos por las normas internacionales. Las condiciones ambientales descritas no solo resultan incómodas, sino que tienden a provocar somnolencia o fatiga, lo que reduce la concentración.

Problemas estructurales y operativos: Se han reportado goteos dentro del auditorio, posiblemente debido a condensación o fugas del sistema de conductos. Esto no solo genera incomodidad para los asistentes, sino que también representa riesgos estructurales y para el equipo de la infraestructura del auditorio.

Falta de control adecuado de la velocidad del aire: El sistema no registra las velocidades adecuadas en las zonas ocupadas, lo que dificulta la distribución uniforme del aire y genera zonas estancadas o calientes. Esto limita la capacidad del sistema para mantener condiciones estables y confortables.

Propuesta de mejora

Con base en las deficiencias abordadas, se propone un diseño de sistema HVAC que cumpla con el estándar internacional y sea más eficiente.

Distribución optimizada del flujo de aire: Se propone un diseño de ventilación basado en un patrón de espina de pescado, que mejora la circulación del aire y minimiza las zonas de aire estancado. Los difusores de aire en el techo deben ubicarse para garantizar su óptimo rendimiento.

Control mejorado de los niveles de temperatura y humedad: se pueden integrar sistemas de deshumidificación adicionales para mantener la humedad relativa entre el 40% y el 60%, con lo que se inhibe el crecimiento de hongos y se mejora la calidad del aire interior.

Modificación de la velocidad del flujo de aire: El sistema de climatización (HVAC) debe configurarse de forma que la velocidad del flujo de aire no supere los 0,2 m/s, según lo prescrito en la norma ASHRAE 55-2021. Esto evitará molestias a los ocupantes causados por las corrientes de aire frío detectadas.

Monitorización de la calidad del aire en tiempo real: Se propone la instalación de sensores de CO₂ y sistemas de monitorización de la calidad del aire para adaptar la ventilación en función de la ocupación y la variabilidad del entorno, tal y como recomienda la OMS (2021).

La evaluación del sistema de climatización del Auditorio de Bellas Artes revela problemas significativos que requieren atención. La temperatura y la humedad relativa del recinto no cumplen con los requisitos internacionales de confort térmico y calidad del aire, lo que impacta negativamente en la comodidad de los usuarios y en la eficiencia del sistema. Es crucial implementar un nuevo diseño que mejore la distribución aérea, así como el control de humedad y la ventilación, esto mejorará sustancialmente la experiencia de los usuarios de la sala.

4.2 Cálculo de las variables técnicas, mecánicas y térmicas del sistema de circulación de aire determinando las capacidades de ventilación y los requerimientos energéticos del nuevo sistema para garantizar una climatización eficiente y sostenible, en el auditorio.

El sistema de circulación de aire para la climatización del Auditorio de Bellas Artes tiene variables técnicas, mecánicas y térmicas que requieren un cálculo exacto. Este procedimiento se traduce en determinar con exactitud las capacidades de ventilación que se deben ofrecer para alcanzar el confort, así como cuantificar el gasto energético del sistema que se va a implementar. Se busca un equilibrio en el confort térmico, la calidad del aire y la sostenibilidad operativa del sistema, considerando la transpiración, la distribución térmica y la energía contenida en ella. En este capítulo se aborda los cálculos requeridos para efectuar el nivel óptimo de los dispositivos de ventilación y climatización, así como las medidas necesarias para lograr su óptimo funcionamiento garantizando el mínimo consumo energético y el máximo logro operacional para el auditorio.

4.2.1 Cálculo del caudal de aire necesario para garantizar una ventilación adecuada en el sistema

Establecer el valor del caudal de ventilación requerido para el Auditorio de Bellas Artes es vital para el mantenimiento de la calidad del aire y el confort térmico del recinto. Para ello, como en la mayoría de los casos, se aplica una norma con un criterio general y se añade un aumento en el amortiguamiento de espacio para la concentración de personas. La fórmula es la siguiente:

$$Q = V \times ACH$$

Donde:

Q es el caudal de ventilación necesario en metros cúbicos por hora (m³/h),

V es el volumen del auditorio en metros cúbicos (m^3),

ACH es el número de renovaciones de aire por hora.

El volumen del auditorio se determinó previamente como $2454.2 m^3$, y el número de renovaciones de aire por hora se fijó en 7, de acuerdo con las normativas recomendadas para auditorios de alta ocupación. Al aplicar la fórmula:

$$Q = 2454.2m^3 \times 7\text{renovaciones/hora}$$

$$Q = 17,179.4m^3/h$$

Este es el volumen de ventilación necesario para lograr un intercambio de aire satisfactorio en el auditorio, garantizando al mismo tiempo tanto la comodidad del usuario como la calidad del aire.

Distribución del flujo de aire en conductos

Para distribuir eficientemente el volumen total de $17.179,4 m^3/h$ en el auditorio, se debe considerar la ubicación y el número de difusores de aire. Se propone instalar ocho difusores, de manera que el volumen total se distribuya uniformemente entre ellos. El cálculo del caudal volumétrico por difusor es el siguiente:

$$Q \text{ difusor} = \frac{Q_{total}}{\text{Numero de difusores}}$$

$$Q \text{ difusor} = \frac{17,179.4}{8}$$

$$Q_{\text{difusor}} = 2,147.43 \text{ m}^3/\text{h}$$

Cada difusor debe manejar un caudal de 2.147,43 m³/h para garantizar un flujo de aire adecuado en todo el auditorio.

Cálculo del tamaño del conducto primario

Ahora determinamos el tamaño adecuado del conducto principal, considerando la velocidad del aire recomendada. Para lograr confort térmico y eficiencia energética, la velocidad del aire en los conductos principales debe estar entre 5 y 7 m/s. Se puede calcular el área de la sección transversal del conducto principal utilizando la fórmula del caudal.

$$A = \frac{Q}{V}$$

Donde:

A es el área de la sección transversal del ducto en metros cuadrados (m²),

Q es el caudal de aire en metros cúbicos por segundo (m³/s),

V es la velocidad del aire en el ducto en metros por segundo (m/s).

Transformando el caudal total a la unidad de m³/s (17,179.4 m³/h = 4.772 m³/s), y tomando V = 6 m/s como valor inicial, se obtiene el área de la sección transversal del ducto de aproximadamente 0.795 m².

Determinación de los tamaños de los conductos (rectangulares)

Para un conducto rectangular, el área de la sección transversal se mide con la siguiente fórmula:

$$A = \text{Ancho} \times \text{Altura}$$

Con base en el área obtenida de 0.795 m^2 , se busca seleccionar comercialmente estándar las dimensiones de los ductos para su instalación. Estas dimensiones disponibles son:

$$0,8 \text{ m} \times 1,0 \text{ m}$$

$$0,7 \text{ m} \times 1,2 \text{ m}$$

$$0,6 \text{ m} \times 1,3 \text{ m}$$

De estas, la más conveniente es $0,8 \text{ m} \times 1,0 \text{ m}$, pues su área es óptima y su tamaño resulta ser un valor comercialmente disponible en sistemas HVAC. Esta decisión permite reducir las pérdidas de presión y distribuir el aire de forma más eficiente.

En este caso, la dimensión del conducto principal seleccionada $0,8 \text{ m} \times 1,0 \text{ m}$ es la más adecuada porque:

Cumple perfectamente el área calculada anteriormente ($0,8$ posta medida puerta $0,8\text{m} \times 0,99\text{m}$) ya que quedará instalada con precisión.

Se trata de una dimensión estándar que se encuentra mayoritariamente en stock en sistemas HVAC, lo que facilita su adquisición y garantiza la compatibilidad con los equipos comerciales existentes.

Al mismo tiempo, mantiene un flujo de aire adecuado y minimiza la caída de presión, lo que optimiza el rendimiento del sistema y mejora la eficiencia energética del sistema de ventilación.

Con la dimensión determinada del conducto principal para la sección AB, ahora se calculan las dimensiones necesarias para las secciones adicionales del sistema de conductos. Se

considera el **caudal específico** de cada tramo en m³/h, las **longitudes de los ductos** y las **velocidades recomendadas** para el flujo de aire en cada segmento del sistema.

La fórmula utilizada para calcular el tamaño adecuado de los ductos es la ecuación del área de la sección transversal:

$$A = \frac{Q}{V}$$

Dónde:

A es el área de la sección transversal del conducto en metros cuadrados (m²).

Q es el caudal de salida del segmento en metros cúbicos por hora (m³/h), medido en m³/s

V es la velocidad del aire en el segmento en metros por segundo (m/ (s)).

Con estos cálculos, se determinan las dimensiones de los conductos para cada sección del sistema. Se busca encontrar dimensiones estándar disponibles que se ajusten mejor a las áreas calculadas para los conductos secundarios. Estos criterios de selección se basan en optimizar la eficiencia de la instalación, minimizando al mismo tiempo los bloqueos, las pérdidas de presión innecesarias y las dificultades durante la distribución del aire.

Esto garantiza que todos los tramos del sistema de ductos estén correctamente dimensionados, proporcionando así un óptimo desempeño del sistema de aire acondicionado y ventilación con las especificaciones técnicas y exigencias normativas, mejorando el confort térmico y la calidad del aire en el interior del auditorio.

Tabla 15*Dimensiones comerciales seleccionadas para los ductos secundarios*

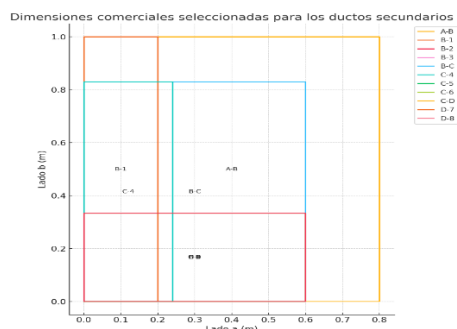
Tramo	Caudal (m³/h)	Velocidad (m/s)	Área requerida (m²)	Lado a (m)	Lado b (m)
A-B	17179.4	6	0.795	0.8	1
B-1	2147.425	3	0.199	0.2	1
B-2	2147.425	3	0.199	0.6	0.334
B-3	2147.425	3	0.199	0.6	0.334
B-C	10737.125	5.989	0.498	0.6	0.83
C-4	2147.425	3	0.199	0.24	0.83
C-5	2147.425	3	0.199	0.6	0.334
C-6	2147.425	3	0.199	0.6	0.334
C-D	4294.85	5.953	0.200	0.6	0.334
D-7	2147.425	3	0.199	0.6	0.334
D-8	2147.425	3	0.199	0.6	0.334

Nota. (Construcción propia, 2025)

La Tabla 15 presenta las dimensiones comerciales de los ductos secundarios seleccionados para el sistema de ventilación del Auditorio de Bellas Artes. En ella se detallan los valores de caudal, velocidad del aire, área requerida y las dimensiones de los ductos para cada tramo del sistema de distribución del aire. Por ejemplo, el tramo A-B tiene un caudal de 17,179.4 m³/h, con una velocidad de 6 m/s y un área requerida de 0.795 m². Estas características son fundamentales para asegurar que el flujo de aire se mantenga adecuado a lo largo del sistema, garantizando una circulación eficiente del aire en todo el auditorio. Los tramos como B-1 y C-4, con caudales menores, requieren ductos con áreas reducidas, lo que permite optimizar el uso del espacio sin sacrificar la eficiencia del sistema. Los datos de esta tabla son cruciales para el diseño de los ductos y la configuración del sistema de ventilación, asegurando que el sistema sea capaz de manejar los flujos de aire necesarios para mantener un confort térmico adecuado en el auditorio, sin exceder los límites de consumo energético y espacio disponible.

Figura 3

Dimensiones comerciales seleccionadas para los ductos secundarios



Nota. (Construcción propia, 2025)

La Figura 3 presenta un gráfico que ilustra las dimensiones comerciales seleccionadas para los ductos secundarios en el sistema de ventilación del Auditorio de Bellas Artes. Cada línea de color en el gráfico representa un tramo diferente del sistema, con sus respectivas dimensiones en lado a y lado b de los ductos. Este gráfico permite visualizar de manera clara cómo las dimensiones varían entre los diferentes tramos, lo que es fundamental para optimizar el flujo de aire a lo largo de todo el sistema. Los tramos como A-B y B-C requieren ductos con dimensiones más grandes, mientras que otros tramos, como B-1 y C-4, tienen dimensiones más reducidas, lo que refleja la variabilidad en los requerimientos de circulación de aire. Esta representación gráfica es esencial para comprender el diseño y la configuración del sistema de distribución de aire, asegurando que se cumpla con los criterios de eficiencia energética y confort térmico.

Caudal de aire y velocidad: Los valores del caudal de aire en este diseño oscilan entre 2,147.425 m³/h y 17,179.4 m³/h, lo cual ya indica que existe un sistema de ductos secundarios que tiene zonas de carga y descarga como tramos principales AB con flujo mucho mayor a los tramos AB. Esto permite aire y permitir cubrir diferentes zonas del auditorio asegurando una circulación de aire adecuada en todos los espacios.

La velocidad del aire en este caso, de 3 m/s a 6 m/s, está diseñada para optimizar el rendimiento del sistema sin generar inconformidad a los usuarios. Las velocidades más altas, así como el tramo AB, son a los tramos principales donde hay mayor demanda de flujo. Las velocidades menores, como en los tramos B-1, B-2 y C-4, son en áreas con A2 caudales menores y distancias cortas.

Área requerida: Para cada tramo de ducto, el área se calculó con base en asegurar un flujo de aire uniforme y la no generación de pérdidas de presión excesivas. De una manera más general, el área de sección transversal de los ductos en cuestión aumenta con el caudal y la velocidad del flujo de aire.

El área de sección transversal del tramo AB es el más grande (0.795 m^2), valor que se asocia a su máximo caudal y la velocidad del aire en ese punto. En este sentido, los tramos B-1 y C-4, que son más distantes y menos caudalosos, presentan áreas mucho menores.

Dimensiones de los conductos: Las dimensiones seleccionadas para los conductos, Lado a (m) y Lado b (m), se ajustan a los requisitos de cada segmento. Con conductos más grandes, como el segmento AB de $0,8 \text{ m} \times 1 \text{ m}$, estos segmentos mantendrán una distribución del flujo de aire más eficiente sin incurrir en pérdidas de presión excesivas. Esta elección garantiza además una eficiencia óptima en la distribución del aire sin incurrir en pérdidas de presión excesivas.

En el segmento B-1, donde el caudal es relativamente bajo, las dimensiones del conducto se reducen a $0,2 \text{ m} \times 1 \text{ m}$, lo que ofrece un tamaño más adecuado. Esto garantiza que la velocidad mínima de flujo deseada se mantenga proporcional al caudal, sin desperdiciar espacio ni material.

Eficiencia y Distribución: Los tramos secundarios (B-1, B-2, C-4, etc.) son equilibrados para la distribución de aire de todo el sistema de aire acondicionado. Se logra un flujo de aire

equilibrado, uniformemente distribuido sin crear zonas de estancamiento o turbulencias. Las dimensiones seleccionadas se encuentran entre los estándares comerciales y, por lo tanto, facilitan la compra o la instalación del sistema.

Por otra parte, la velocidad del aire también se controla para permitir la mantener aún mayor comodidad la térmica del auditorio.

La evaluación realizada en la tabla sugiere que el sistema de ductos está correctamente dimensionado para el auditorio, manteniendo regulaciones de ventilación y confort térmico para los usuarios.

Las dimensiones comerciales seleccionadas para los conductos garantizan, además de operación efectiva, disponibilidad de materiales y facilidad en la instalación.

Los comentarios aquí expresados señalan que el sistema de ductos propuesto tiene capacidad para controlar el aire necesario para la ventilación del auditorio, garantizando el confort térmico requerido y reduciendo las pérdidas de presión del sistema.

Cálculo de Pérdidas de presión en los ductos

Para estimar las pérdidas de presión en los ductos secundarios de un sistema de ventilación, resulta necesario aplicar la ecuación de Darcy-Weisbach, dado que esto permite calcular la disminución de presión por diversos términos tales como: la rugosidad del material del ducto, la pérdida, la velocidad del aire y el diámetro hidráulico. Realizar este análisis es fundamental para asegurar el funcionamiento óptimo del sistema de ventilación y prevenir problemas en la circulación del aire.

La ecuación de Darcy-Weisbach utilizada es la siguiente:

$$\Delta P_f = f \times \frac{L}{D_h} \times \frac{\rho V^2}{2}$$

Donde:

ΔP_f es la pérdida de presión (Pa).

f es el **factor de fricción**, que se ha estimado en **0.02** para ductos de chapa galvanizada (valor estándar utilizado en sistemas HVAC).

L es la **longitud del ducto** secundario (m).

D_h es el **diámetro hidráulico** del ducto, que se calcula como:

$$D_h = 2 \times \frac{(Ancho \times Alto)}{(Ancho + Alto)}$$

ρ es la densidad del aire, tomada como 1,2 kg/m³ a temperatura ambiente.

V es la velocidad del aire en el conducto, un valor que cambia para cada sección y se obtiene de la hoja de cálculo de Excel correspondiente.

Análisis de la aplicación de los resultados de la fórmula: Usando esta fórmula, es posible calcular la pérdida de presión primaria para cada segmento del conducto. La pérdida de presión primaria es esencial al evaluar el rendimiento de un sistema de ventilación, ya que ayuda a determinar si el flujo de aire está limitado por una caída excesiva de presión. Las caídas de presión en los conductos pueden afectar negativamente la eficiencia energética del sistema, así como causar que algunas áreas sufran de mala circulación de aire.

Cálculos y resultados: Después de aplicar la ecuación, los valores correspondientes para cada segmento del conducto se almacenan en una tabla y, por lo tanto, se procesan. Estos resultados muestran las pérdidas de presión primarias para cada segmento en función de la longitud del conducto, el diámetro hidráulico, la velocidad del aire y el material utilizado. A continuación, se presenta un ejemplo que ilustra los conceptos de forma simplificada:

Cálculo para el Tramo A-B

Longitud del ducto (L): 14.66 m.

Diámetro hidráulico (Dh): 0.889 m.

Velocidad del aire (V): 6 m/s.

Factor de fricción (f): 0.02.

Densidad del aire (ρ): 1.2 kg/m³.

Al sustituir estos valores en la fórmula, se obtiene la pérdida de presión primaria para el tramo A-B.

Pérdidas de presión secundaria

Además de considerar las pérdidas de presión primarias, también es necesario tener en cuenta las pérdidas de presión secundarias, que ocurren debido a accesorios, codos, válvulas, expansiones, contracciones, etc. Estas pérdidas se pueden calcular utilizando la siguiente fórmula:

$$\Delta P = K \times \frac{\rho V^2}{2}$$

Donde:

ΔP es la pérdida de presión secundaria (Pa).

K es el coeficiente de pérdida del accesorio, que depende del tipo de accesorio (por ejemplo, un codo de 90 grados tiene un valor específico de K).

ρ es la densidad del aire (1.2 kg/m³).

V es la velocidad del aire en la ubicación del accesorio.

Similar al cálculo de las pérdidas primarias, estos valores se calculan para cada segmento del sistema e incorporan la pérdida secundaria asociada con accesorios como codos y válvulas.

Analizando los Datos Obtenidos

En la tabla presentada a continuación, mostramos las pérdidas de presión para cada sección de conducto y sus respectivos accesorios. Estos datos sirven para evaluar la efectividad del sistema de ventilación:

Tabla 16*Tabla de Pérdidas de Presión primarias calculadas*

Tramo	Lado a (m)	Lado b (m)	Diámetro hidráulico (Dh) (m)	Longitud (m)	Velocidad (m/s)	Pérdida de presión primaria (Pa)
A-B	0.8	1	0.889	14.66	6	7.125
B-1	0.2	1	0.333	1.97	3	0.638
B-2	0.6	0.334	0.429	10.13	3	2.549
B-3	0.6	0.334	0.429	10.16	3	2.557
B-C	0.6	0.83	0.697	8.43	5.989	5.210
C-4	0.24	0.83	0.372	1.47	3	0.426
C-5	0.6	0.334	0.429	7.31	3	1.840
C-6	0.6	0.334	0.429	7.26	3	1.827
C-D	0.6	0.334	0.429	7.39	5.953	7.324
D-7	0.6	0.334	0.429	3.91	3	0.984
D-8	0.6	0.334	0.429	5.22	3	1.314

Nota. (Construcción propia, 2025)

La Tabla 16 muestra las pérdidas de presión primaria calculadas para cada sección del sistema de ductos del Auditorio de Bellas Artes. Esta información es importante para evaluar la efectividad del sistema de ventilación y la capacidad de los ductos para facilitar el flujo de aire con un mínimo de pérdidas de presión. La tabla incluye métricas importantes, es decir, el diámetro hidráulico, la longitud de la sección, la velocidad del aire y las pérdidas de presión para cada sección. Por ejemplo, en la sección A-B, la pérdida de presión primaria es de 7.125 Pa, lo que muestra que hay un flujo de aire considerablemente más resistente en función del tamaño y otros atributos del ducto. En contraste, secciones como B-1 y C-4 tienen pérdidas de presión mucho más bajas de 0.638 Pa y 0.426 Pa, respectivamente. El total de pérdidas primarias es de 31.794 Pa, que es la cantidad total de presión resistiva que el sistema de ventilación debe superar para lograr un flujo de aire eficiente. Estos parámetros son críticos para la calibración del

rediseño del sistema de ventilación en el Auditorio en términos de distribución de flujo de aire y eficiencia energética.

Variables Presentadas en la Tabla

Las columnas de la tabla contienen información relevante necesaria para el análisis de la pérdida de presión:

Tramo: Identifique cada sección o tramo del ducto dentro del sistema.

Lado a y lado b: Representan las dimensiones del ducto en dos direcciones, el ancho y la altura del ducto.

Diámetro hidráulico (Dh): Se refiere al diámetro calculado de cada ducto. Es un valor relevante que se debe considerar al evaluar el flujo del ducto.

Longitud (m): La longitud del ducto en metros, la cual incide en la resistencia al flujo de aire y las pérdidas de presión.

Velocidad (m/s): La velocidad del aire en el ducto, parámetro que influye en las pérdidas de presión debido a la fricción entre el aire y las paredes del ducto.

Pérdida de presión primaria (Pa): Se define como la cantidad de presión que se pierde como consecuencia del ducto por resistencia, la cual puede ser calculada con la ecuación de Darcy-Weisbach.

Análisis detallado de los resultados

Tramo AB:

Longitud: 14,66 m

Velocidad: 6 m/s

Pérdida de presión primaria: 7.125 Pa

Por ser uno de los tramos más largos del sistema, contribuye a una mayor pérdida de presión primaria. Además, la alta velocidad del aire dentro de este tramo (6 m/s) aunque incrementa las pérdidas de presión, se encuentra dentro de los márgenes aceptables para un sistema de climatización eficiente.

Tramo B-1:

Longitud: 1,97 m

Velocidad: 3 m/s

Pérdida de presión primaria: 0.638 Pa

El corto efecto B-1 presenta una menor velocidad y longitud al compararse con el tramo AB, por lo que la pérdida de presión primaria es mucho menor. Esto provoca que la caída de presión sea relativamente baja.

Secciones B-2 y B-3:

Sus longitudes respectivas son: 10,13 y 10,16 m.

La tasa de flujo es: igual a 3 m/s.

Pérdida de presión primaria: 2.549 y 2.557 Pa respectivamente

Ambas secciones son lo suficientemente largas como para que a la velocidad moderada de 3 m/s, las pérdidas de presión primaria se observan como moderadas, si no ligeramente por debajo del promedio, pero dentro de rangos beneficiosos para un sistema de conductos.

Sección BC:

Longitud: 8,43 m.

Velocidad: 5.989 m/s.

Pérdida de presión primaria: 5.210 Pa.

Como se puede ver en la figura, la velocidad del aire para esta sección es significativamente alta (casi 6 m/s) por lo que es razonable que la pérdida de presión primaria experimentada sea mucho mayor debido a la considerable cantidad de flujo de aire que se suministra al conducto ya la longitud del conducto.

Secciones C-4 a D-8:

Aunque estas secciones tienen longitudes variadas, la mayoría de sus velocidades de aire oscilan entre 3 m/s y 5.953 m/s, con pérdidas de presión primaria correspondientes entre 0.426 Pa y 7.324 Pa.

El rango de valores para la pérdida de presión primaria se atribuye principalmente a las diferencias en las mediciones discutidas anteriormente. A largo plazo, e independientemente de la distancia y la velocidad del aire, algunas secciones tienden a tener pérdidas mayores (por ejemplo, CD y AB).

Total, de Pérdidas de Presión Primarias

Total, de pérdidas primarias: 31.794 Pa

El total del sistema de ductos primarios tiene una acumulada de 31.794 Pa. Este valor resulta especialmente importante al calcular la efectividad del sistema de ventilación. Una pérdida total de presión cercana a este valor sugiere que el sistema se encuentra dentro de los parámetros de operación razonables.

Por consiguiente, Las pérdidas de presión primarias estimadas para cada tramo del sistema son aceptables y se ajustan a los rangos necesarios para un sistema HVAC energéticamente eficiente.

Los tramos más largos y más acelerados (AB y BC) tienen mayores pérdidas de presión; Sin embargo, estas caídas son moderadas, lo que asegura que el sistema proporción de circulación de aire de manera óptima.

El sistema de ductos, en términos generales, está bien diseñado, así como el equilibrio entre la ventilación y las pérdidas de presión se encuentran dentro de los rangos sugeridos, permitiendo un funcionamiento adecuado y eficiente sin afectar la eficiencia energética.

Además, los cálculos realizados implantan una distribución del aire eficiente en el auditorio, un sistema de ductos equilibrado, permite acondicionar el aire a los niveles necesarios para los estándares de confort térmico y calidad adecuados al espacio.

Este estudio es necesario y asegura que con respecto a la ventilación y climatización que se instala en el auditorio de Bellas Artes, se convertirá en un sistema sustentable y que cumpla con los requisitos internacionales en calidad del aire y confort térmico.

Los valores de la pérdida de presión primaria en la tabla ilustran las pérdidas incurridas debido a la longitud de los conductos, sus dimensiones y la velocidad del aire. Además, las pérdidas secundarias se calculan en función de los accesorios como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 17*Pérdidas de Presión Secundarias calculadas para todos los ductos*

Ubicación	Accesorio	Coefficiente de accesorio K	Densidad del aire promedio. (kg/m ³)	Velocidad mayor o menor en la ubicación (m/s)	Pérdidas de presión secundarias (Pa)
A-B	Codo 90 grados	0.18	1.2	6	3.888
B-2	Codo 90 grados	0.18	1.2	3	0.972
B-3	Codo 90 grados	0.18	1.2	3	0.972
C-5	Codo 90 grados	0.18	1.2	3	0.972
C-6	Codo 90 grados	0.18	1.2	3	0.972
D-7	Codo 90 grados	0.18	1.2	3	0.972
D-8	Codo 90 grados	0.18	1.2	3	0.972
B	Pérdida Te en ramificación	1	1.2	3	5.4
C	Pérdida Te en ramificación	1	1.2	3	5.4
D	Pérdida Te en ramificación	1	1.2	3	5.4
B	Pérdida Te flujo por ramificación	0.1	1.2	6	2.16
C	Pérdida Te flujo por ramificación	0.1	1.2	5.989	2.152
D	Pérdida Te flujo por ramificación	0.1	1.2	5.953	2.126
1	Rejilla	0.06	1.2	3	0.324
2	Rejilla	0.06	1.2	3	0.324
3	Rejilla	0.06	1.2	3	0.324
4	Rejilla	0.06	1.2	3	0.324
5	Rejilla	0.06	1.2	3	0.324
6	Rejilla	0.06	1.2	3	0.324
7	Rejilla	0.06	1.2	3	0.324
8	Rejilla	0.06	1.2	3	0.324
1	Amortiguador	0.2	1.2	3	1.08
2	Amortiguador	0.2	1.2	3	1.08
3	Amortiguador	0.2	1.2	3	1.08
4	Amortiguador	0.2	1.2	3	1.08
5	Amortiguador	0.2	1.2	3	1.08
6	Amortiguador	0.2	1.2	3	1.08
7	Amortiguador	0.2	1.2	3	1.08
8	Amortiguador	0.2	1.2	3	1.08

Nota. (Construcción propia, 2025)

Como se describe en la Tabla 17, se han calculado las pérdidas de presión atribuidas a los accesorios y componentes del sistema de conductos en el Auditorio de Bellas Artes. Estas pérdidas son el resultado de una resistencia adicional debido a los codos, rejillas, apagador y ramas del sistema de ventilación. Los codos de 90 grados en las ubicaciones A-B y B-2 tienen pérdidas de presión secundarias de 3.888 Pa y 0.972 Pa, respectivamente. Estos valores indican que hay cierta resistencia debido a los cambios de dirección en el flujo de aire. Las ramas, marcadas como B, C y D, están añadiendo 5.4 Pa por rama debido a que el flujo de aire se divide en múltiples conductos. Para las rejillas y los apagadores, se observan pérdidas de presión más bajas, como 0.324 Pa por rejilla y 1.08 Pa por apagador. Esto indica que, aunque estos accesorios son importantes para la gestión del flujo de aire, su impacto en la presión es menor.

Esta información es crítica para determinar la eficiencia general del sistema de ventilación y para asegurar que el flujo de aire se mantenga óptimamente en todo el auditorio sin causar pérdidas de presión excesivas que impactarían negativamente en la eficiencia energética y el confort térmico.

Análisis de segmentos

Codos de 90 grados:

Pérdida de presión baja: los codos de 90 grados son bastante significativos en cuanto a la pérdida de presión de un sistema. Todos los segmentos que involucran codos tienen un coeficiente

$K = 0,18$ con velocidades de aire de aproximadamente 3 m/s (excepto el segmento AB con 6 m/s).

La pérdida de presión en los segmentos es pequeña en valor absoluto, pero bastante significativa cuando se considera en todo el sistema:

Para el segmento AB, el valor es de 3.888 Pa, que proviene del flujo de aire del codo de 6 m/s generando resistencia.

Para los segmentos B-2, B-3, C-5, C-6, D-7, D-8, aquí los codos proporcionan una pérdida de presión menor de 0,972 Pa, a una velocidad de aire de 3 m/s.

Pérdidas en las ramas:

Coefficiente

K=1: Considerando las pérdidas de aire presurizado durante la ramificación, la pérdida en los segmentos B, C y D es de 5.4Pa, que es el valor máximo. Estas pérdidas ocurren debido al flujo de aire a través de las ramas, así como a través de bifurcaciones del flujo.

Flujo a través de las ramas: Para las secciones de rama B, C y D, las pérdidas debido al flujo en la rama son menores que aquellas en la ramificación directa, con pérdidas entre 2.126Pa y 2.16 Pa.

Rejillas y compensadores:

Rejillas: Las rejillas representan pérdidas de presión menores, con un valor constante de 0.324 Pa para cada una de las 8 rejillas. Aunque cada una contribuye muy poco a la pérdida, la contribución total de las 8 rejillas es de 2.592 Pa.

Compensadores: Estos compensadores, con un coeficiente $K=0.2$, exhiben una mayor pérdida de presión de 1.08 Pa por cada unidad, contribuyendo un total de 8.64 Pa para las 8 unidades.

Total, de pérdidas secundarias

Reportando la suma de las pérdidas secundarias, obtenemos un total de 43.59 Pa. Este valor corresponde a la suma de las pérdidas debidas a codos, ramificaciones, rejillas y amortiguadores.

Al estudiar las pérdidas secundarias, se observa que la mayor parte de la pérdida proviene de los accesorios como codos y reguladores, siendo las pérdidas de las líneas de ramales las que siguen en segundo lugar. Independientemente de las pérdidas observadas, el sistema permanece eficiente en parte porque las pérdidas totales de 43,59 Pa son relativamente bajas, especialmente en comparación con las pérdidas primarias de 31,79 Pa, resultando en un total acumulado de 75,38 Pa de pérdidas de presión en el sistema.

Este valor total de 75.38 Pa sugiere que, dentro de este rango, las pérdidas por presión son bajas y aceptables, lo que permite una distribución eficiente del aire sin mayor preocupación por afectar negativamente el rendimiento general del sistema. Las pérdidas de presión por debajo de este umbral indican que el sistema está bien diseñado y cumple con los requisitos de eficiencia energética, asegurando una ventilación adecuada sin evitar un consumo excesivo de energía.

4.2.2 Determinar de la cantidad de calor que debe ser removido o añadido al sistema para mantener las condiciones térmicas deseadas

Para garantizar un acondicionamiento térmico adecuado para el Auditorio Bellas Artes en Ocaña, Norte de Santander, es fundamental establecer cuánto calor debe ser eliminado o agregado al sistema de ventilación. Este cálculo se basa en la carga térmica creada por varios factores, incluyendo la ocupación del espacio, la transmisión de calor a través de la envolvente del edificio, la iluminación y el equipo eléctrico ubicado en la sala. Todos estos factores tienen un impacto directo en el confort térmico de los ocupantes y, por lo tanto, deben ser tenidos en cuenta durante el diseño del sistema de climatización.

Cálculo de la carga térmica total

La carga térmica total es el resultado de sumar cada fuente de calor que impacta en el entorno del auditorio. Estas fuentes incluyen personas, la transferencia de calor a través de las paredes y ventanas del edificio, la iluminación y los dispositivos electrónicos utilizados dentro de la sala. A continuación, se presenta el cálculo de la carga térmica causada por el calor generado por los ocupantes del auditorio, lo cual es importante para el diseño del sistema de aire acondicionado.

Carga sensible por ocupación

La presencia de personas en un espacio contribuye de manera significativa a la carga térmica. Los ocupantes producen calor sensible mediante radiación y la respiración, particularmente en espacios cerrados. La cantidad de calor sensible que se genera depende de varios factores, como el nivel de actividad física de los ocupantes. En este caso, se considera que los ocupantes del auditorio se mantendrán sentados y en reposo, lo que implica un nivel bajo de actividad física y, por lo tanto, una carga térmica moderada.

La carga térmica sensible por ocupación se calcularía con la siguiente fórmula:

$$Q_{personas} = n \times C_{sensible}$$

Donde:

$n=510$ (aforo máximo del auditorio),

$Q_{sensible}=76.76\text{W/persona}$ (cantidad de calor sensible por persona, que corresponde a **260 Btu/h/persona** a una temperatura de 22°C o 70°F).

Análisis de la carga térmica por ocupación

La carga térmica debida a la ocupación es importante al diseñar un sistema HVAC (Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado). Para el caso del Auditorio Bellas Artes con una capacidad de 510 personas, se estima que cada persona produce aproximadamente 76.76 W de calor sensible. Esto se traduce en un total de 39,168 W o 39.17 kW de carga térmica debido a la presencia de personas.

Cabe señalar que esta cifra de 76.76 W/persona se ha calculado basándose en estudios previos y diagramas de ocupación en reposo de ASHRAE. Estas cifras son importantes para el diseño eficiente del sistema de refrigeración, ya que determinan cuánto calor necesita ser eliminado del espacio para lograr un ambiente confortable.

Tabla 18

Cálculo de la Carga Térmica por Ocupación

Factor	Valor
Número de personas (n)	510
Calor sensible por persona (Q)	76.76 W/persona
Carga térmica total por ocupación (Q _p personas)	39.17 kW (510 × 76.76 W)

Nota. (Construcción propia, 2025)

La Tabla 18 describe el cálculo de la carga térmica basado en la ocupación para el Auditorio de Bellas Artes. Este cálculo es vital para entender los efectos de la ocupación en las condiciones térmicas del espacio y es crítico para la correcta estimación del sistema de ventilación. Para comenzar, se estima que el número de personas en el auditorio es 510, y que cada una de ellas genera un valor de 76.76 W de calor. Al multiplicar estas dos cantidades, se obtiene una carga térmica total de 39.17 kW, que es el total del calor sensible generado por los

ocupantes durante un evento. Este valor es importante para el diseño del sistema de ventilación, porque impacta directamente en la automatización del equipo de aire acondicionado requerido para mantener un espacio correctamente condicionado durante el evento.

Asumir que en un lugar determinado solo se cuenta con un número de personas es un error. Saber el tipo de actividad que van a ejecutar es fundamental en términos de salud y bienestar, pues en diferentes niveles de actividad, la carga térmica consecuencia de la ocupación varía de manera notable.

Para el caso concreto del Auditorio Bellas Artes, hay que recordar que su capacidad es de 510 personas. El calor sensible que se suma es aproximadamente 39.17 kW. Este dato se debe considerar al momento de realizar las labores de climatización para asegurar un control térmico en la ventilación y movimiento de aire. Contar con normativas internacionales como las de ASHRAE dan un soporte importante al cálculo confiable sobre la carga térmica para el diseño y dimensionamiento del sistema HVAC.

Figura 4

Calor Producido por las Personas Según el Grado de Actividad y las Condiciones del Espacio

Grado de actividad	Aplicación típica	Relación metabólica de un hombre adulto Btu/h	Grupo de personas			Promedio de la relación metabólica Btu/h	Temperaturas del cuarto (°F, BS)									
			% de composición del grupo				82°F		80°F		78°F		75°F		70°F	
			Hombre	Mujer	Niño		Btu/h		Btu/h		Btu/h		Btu/h		Btu/h	
							Sens. Lat.	Sens. Lat.	Sens. Lat.	Sens. Lat.	Sens. Lat.	Sens. Lat.	Sens. Lat.	Sens. Lat.		
Sentado	Teatro	390	45	45	10	350	175	175	195	155	210	140	230	120	260	90
Sentado; trabajo ligero	Escuela	450	50	50	0	400	180	220	195	205	215	185	240	160	275	125
Trabajo de oficina, actividad moderada	Oficinas, hoteles, departamentos	475	50	50	0	450	200	270	200	250	215	235	245	205	285	165
Parados; caminando despacio	Tienda de ropa, almacenes	550	10	70	20	450	200	270	200	250	215	280	245	205	285	165
Caminando; sentado, de pie; caminando despacio	Cafeterías, Bancos	550	20	70	10	500	180	320	200	300	220	280	255	245	290	210
		550	40	60	0											
Trabajo sedentario	Restaurantes	500	50	50	0	550	190	360	220	330	240	310	280	270	320	230
Trabajo ligero	Fábrica, trabajo ligero	800	60	40	0	750	190	560	220	530	245	505	295	455	365	285
Baile moderado	Salas de baile	900	50	50	0	850	220	630	245	605	275	575	325	525	400	450
Caminando, 3 mph	Fábricas, trabajo algo pesado	1,000	100	0	0	1,000	270	730	300	700	330	670	380	620	460	540
		Jugando	Boliche	1,500	75	25	0	1,450	450	1,000	465	985	485	965	525	925

De *Modern Air Conditioning, Heating, and Ventilating*, 3ª edición, por Willis H. Carrier, Realto E. Cherne, Walter A. Grant y William H. Roberts, con autorización de Pitman Publishing Corporation.

Nota. (Hernández, Goribar, 2005)

La Figura 4 muestra una tabla que describe el calor producido por individuos en función de su nivel de actividad, así como el contexto espacial del calor. La investigación de Hernández y Goribar (2005) indica que el calor producido por un grupo de individuos cambia enormemente según su nivel de actividad, ya sea que estén sentados, caminando o realizando trabajos ligeros. Por ejemplo, un grupo de individuos en un asiento de teatro genera alrededor de 390 BTU/h por persona. Sin embargo, esto cambia bastante en el trabajo activo; caminar o bailar puede producir hasta 1,500 BTU/h durante un baile vigoroso. Estos datos son importantes para el Auditorio de Bellas Artes, ya que ayudan a estimar la cantidad de carga térmica que aportan los participantes en diferentes tipos de actividades, ya sea que asistan a conferencias o presentaciones artísticas.

Comprender la distribución de la energía térmica en función de la actividad facilita una ventilación adecuada del sistema para garantizar un ambiente agradable para los ocupantes.

Distribución de la carga térmica por actividad: El gráfico descompone el nivel de actividad en una serie de categorías que comienzan con "sentado" durante actividades de teatro y aula; progresando hacia actividades más intensivas como "jugar" o "bailar", que incrementan significativamente la producción de carga térmica. Esta categorización es útil para determinar qué tipos de actividades en un auditorio pueden aumentar la carga térmica.

Impacto de la temperatura: En las columnas de la tabla se muestran las temperaturas del ambiente (82°F, 80°F, 79°F, 75°F) y el calor generado. Se puede notar que, al bajar la temperatura, el calor generado por persona también lo hace, lo que enfatiza la importancia de subir o bajar la temperatura el ambiente considerando la cantidad de personas y actividades para hacer que el sistema HVAC trabaje con mayor eficiencia.

Consideraciones para el diseño del sistema HVAC: A partir de esta tabla, los especialistas en sistemas HVAC pueden calcular la cantidad de calor que se tiene que quitar o agregar al espacio para mantener las condiciones térmicas deseadas. Tomando como ejemplo el auditorio de Bellas Artes donde hay una capacidad de hasta 510 personas, permite calcular la carga térmica que deben soportar con los ocupantes para poder e implementar adecuado el ventilo sanitario y climatizador.

En resumen, la figura proporciona una herramienta valiosa para los diseñadores de sistemas HVAC, ya que permite una estimación precisa de la carga térmica generada por las

personas, lo que ayuda en el diseño de sistemas para mantener un confort térmico adecuado en el espacio.

Cálculo de la carga térmica en el auditorio de Bellas Artes de Ocaña, Norte de Santander

Para garantizar el adecuado acondicionamiento térmico del Auditorio de Bellas Artes en Ocaña, Norte de Santander, se ha calculado la carga térmica total teniendo en cuenta varios factores, incluida la utilización del espacio, la ganancia de calor a través de las paredes y la infiltración de aire. A continuación, proporciono un análisis exhaustivo de cada componente relacionado con la carga térmica.

Carga térmica por ocupación

La carga térmica creada por los ocupantes del auditorio depende de la cantidad de calor sensible que cada persona emite, lo cual depende de su actividad. Aquí, asumimos que los asistentes están sentados e inactivos, lo que produce un calor sensible de 76.76 W por persona a 22 °C.

Para encontrar el calor sensible total recuperado de la carga térmica de 510 ocupantes del auditorio, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_{personas} = n \times C_{sensible}$$

$$Q_{personas} = 510 \times 76.76 = 39,147.6 \text{ W}$$

Por lo tanto, la carga térmica generada por la ocupación del auditorio es 39,147.6 W.

Ganancia de calor a través de las paredes

$$Q_{paredes} = k \times A \times (T_{ext} - T_{int})$$

Donde:

$k = 1.82 \text{ W/m}^2\text{K}$ (coeficiente de transmisión térmica)

$A = 1544.93 \text{ m}^2$ (superficie total de cerramiento)

$T_{ext} = 27^\circ\text{C}$ (temperatura exterior)

$T_{int} = 22^\circ\text{C}$ (temperatura interior deseada)

Sustituyendo los valores:

$$Q_{paredes} = 1.82 \times 1544.93 \times (27 - 22) = 14,058.86 \text{ W}$$

La carga térmica generada por ganancia de calor a través de paredes en el auditorio es **14,058.86 W**.

Carga térmica por infiltración

La infiltración se refiere a la entrada incontrolada de aire del exterior a través de grietas, aberturas y ventanas. Este tipo de aire suele ser más cálido y más húmedo que el aire interior. Por lo tanto, enfriarlo y deshumidificarlo es esencial. La carga térmica resultante por infiltración se calcula utilizando la ecuación:

$$Q_{infiltración} = 1.2 \times ACH \times V \times \Delta T \times 1.005$$

Donde:

Volumen estimado del auditorio: 2454.2 m³.

Renovación por infiltración: 0.5 a 1.0 ACH (renovación/hora). Se toma 0.75 ACH como valor medio.

ΔT (Text - Tint): 5 °C (Text = 27 °C, Tint = 22 °C).

Densidad del aire: 1.2 kg/m³.

Calor específico del aire: 1.005 kJ/(kg·K).

Sustituyendo valores:

$$Q_{\text{infiltración}} = 1.2 \times (0.75) \times (2454.2) \times (5) \times 1.005 = 11089.17 \text{ W}$$

La carga térmica generada por ganancia de calor a través de paredes en el auditorio es **11089,17 W**.

Resumen de la carga térmica total

Con los cálculos realizados, la carga térmica total generada por los diferentes factores es la siguiente:

Carga térmica por ocupación: 39,147.6 W

Ganancia de calor a través de las paredes: 14,058.86 W

Carga térmica por infiltración: 11,089.17 W

Por lo tanto, la carga térmica total que debe ser gestionada por el sistema de ventilación y climatización del Auditorio de Bellas Artes es la suma de estos valores, es decir:

$$Q_{total} = 39,147.6 + 14,058.86 + 11,089.17 = 64,295.63W$$

Este cálculo es crucial para la correcta configuración del sistema de aire acondicionado, asegurando que el ambiente en el auditorio se mantenga térmicamente para garantizar el confort de los usuarios.

Figura 5

Ganancia de Calor Debido al Equipo Misceláneo

TABLA IX-8. Ganancia de calor debida al equipo misceláneo

Dispositivo	Calor disipado durante el funcionamiento (Btu/h)	
	Calor sensible	Calor latente
Luz eléctrica y aparatos eléctricos, por kw instalado	3,413	
Motores con la carga aplicada en el mismo cuarto, por HP *		
De 1/8 — 1/2 HP	4,250	
De 1/2 — 3 HP	3,700	
De 3 — 20 HP	2,950	
Cafetera eléctrica (3 galones)	2,200	1,500
Cafetera eléctrica (5 galones)	3,400	2,300
Estufa de gas	3,100	1,700
Calentador de agua	3,150	3,850
Horno doméstico de gas	8,100	4,000
Cafetera de gas (3 galones)	2,500	2,500
Cafetera de gas (5 galones)	3,900	3,900
Equipo calentado por vapor, por pie cuadrado **		
Superficies calentadas por vapor:		
Pulida	130	
Sin pulir	330	
Superficie aislada	80	
Secadores de pelo para sala de belleza:		
Tipo soplador	2,300	400
Tipo casco	1,870	330
Restaurantes, por comida servida	30 (Btu)	

Nota. (Hernández, Goribar, 2005)

La Figura 5 presenta una tabla que lista la ganancia de calor asociada con varios dispositivos eléctricos y electrodomésticos y cuánto calor contribuyen a un espacio cerrado medido en BTU/h. La tabla en la que estamos interesados proviene del trabajo de Hernández y

Goribar (2005), que describe la cantidad de calor sensible y latente que producen diferentes dispositivos durante su operación. Un ejemplo de esto son las cafeteras eléctricas de 3 galones cuya ganancia de calor es de 1,200 BTU/h, y los secadores de pelo y hornos domésticos que pueden producir 3,900 BTU/h. Estos datos son críticos en relación al diseño de sistemas de ventilación respecto al Auditorio de Bellas Artes, ya que proporcionan una estimación razonable del impacto térmico de los dispositivos eléctricos utilizados en el espacio, que incluyen: luces, proyectores y otros equipos utilizados durante eventos. Si la información anterior se utiliza adecuadamente al diseñar el sistema de ventilación, las condiciones térmicas del espacio se mantendrán dentro de los niveles de comodidad para los usuarios del auditorio.

Consumo de electricidad y equipos eléctricos: Los dispositivos que utilizan energía eléctrica aumentan el calor disponible en 3413 BTU/h por cada KW de potencia instalada. Los dispositivos eléctricos casi siempre están en funcionamiento una buena parte del tiempo. Esta cifra es apropiada para determinar la carga térmica total, especialmente en el caso de auditorios o en edificios con alto consumo de energía eléctrica.

Motores de carga aplicada: Los motores también producen cantidades significativas de calor, especialmente los de alta potencia. Un buen ejemplo son los motores de $\frac{1}{2}$ HP que producen 4250 BTU/h. Esto indica que el equipo industrial u oficina equipado con motores muy cargados contribuye significativamente al aumento de la carga térmica en un espacio confinado.

Electrodomésticos de cocina. Cafeteras eléctricas y a gas, junto con hornos y estufas, contribuyen considerablemente al calor. Por ejemplo, las cafeteras eléctricas con una capacidad de 3 galones liberan 3,700 BTU/h, lo que aumenta la carga térmica en lugares como comedores, oficinas o auditorios que tienen áreas de descanso o servicio.

Superficies calentadas por contacto directo o indirecto. Dispositivos como secadores de pelo y pulidoras utilizados en salones de belleza producen tanto calor sensible como latente, que debe tenerse en cuenta al diseñar el sistema de control climático.

En general, la figura proporciona información que es importante para dimensionar correctamente el sistema de ventilación y aire acondicionado de un espacio acondicionado, considerando la ganancia térmica debida a varios dispositivos. Estos cálculos ayudan a garantizar que el sistema sea capaz de mantener la temperatura y calidad del aire requeridas dentro de un rango cómodo, de acuerdo con las normas internacionales sobre confort térmico y eficiencia energética.

La figura “Ganancia de Calor Debido al Equipo Misceláneo” ilustra la cantidad de calor, tanto sensible como latente, producida por algunos dispositivos eléctricos y de gas. Esta información es importante para estimar las cargas térmicas necesarias para un sistema de HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado), porque ayuda a determinar la cantidad de calor que necesita ser removido o añadido al sistema para lograr las condiciones de confort deseadas. Como señala Hernández (2005), la transformación de energía en los sistemas de HVAC es eficiente porque la energía eléctrica utilizada se transforma en calor sensible casi proporcionalmente. Eso significa que 1 kW (3413 Btu/h) de energía eléctrica utilizada se traduce en 1 kW de calor, porque la mayor parte de la energía eléctrica en dispositivos resistivos como luces y otros electrodomésticos se convierte en calor.

Carga térmica generada por la iluminación

El cálculo de la carga térmica de los accesorios de iluminación se deriva del número de lámparas instaladas junto con su respectiva potencia en vatios. La ecuación utilizada es la siguiente:

$$Q_{iluminacion} = Cantidad\ de\ lamparas \times Potencia\ por\ lampara$$

Sustituyendo los valores:

Número de lámparas = 57

Potencia por lámpara = 1500 W

$$Q_{iluminacion} = 57 \times 1500 = 85,500\ W$$

La carga térmica generada por iluminación en el auditorio es **85,500 W**

Carga térmica generada por equipos y aparatos electrónicos

Según las recomendaciones de ASHRAE (Fundamentos, Cap. 18), la carga térmica para auditorios equipados con tecnología audiovisual suele estar entre 6-10 W/m². Este valor depende del peso del equipo presente en el auditorio. En este caso, se seleccionó un valor intermedio de 8 W/m².

El cálculo se realiza multiplicando el área del auditorio por la potencia media del equipo:

$$Q_{equipos} = Area \times Potencia$$

Sustituyendo los valores:

$$\text{Área del auditorio} = 486 \text{ m}^2$$

$$\text{Potencia por m}^2 = 8 \text{ W/m}^2$$

$$Q_{equipos} = 486 \text{ m}^2 \times 8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 3,888 \text{ W}$$

Por lo tanto, la carga térmica generada por los equipos electrónicos en el auditorio es de 3,888 W.

Carga térmica total

Finalmente, la carga térmica general del auditorio se obtiene al sumar las contribuciones de las diferentes fuentes de calor: ocupación, paredes, infiltración, iluminación y equipos electrónicos. La ecuación para estimar la carga térmica total es la siguiente:

$$Q_{total} = Q_{personas} + Q_{paredes} + Q_{infiltración} + Q_{iluminacion} + Q_{aparatos}$$

Sustituyendo los valores:

$$Q_{total} = 39,147.6 + 14,058.86 + 11089.17 + 85,500 + 3,888$$

$$Q_{total} = 142,594.46 \text{ W} = 153.68 \text{ kW}$$

A partir de los cálculos, entendemos que la cantidad de calor que debe ser eliminada del auditorio para mantener las condiciones térmicas deseadas es de 153.68 kW. Este valor es crítico para la selección y dimensionamiento del sistema de ventilación y aire acondicionado para el auditorio, asegurando así un ambiente cómodo y óptimo para los usuarios.

Los cálculos de las cargas térmicas resultantes de diversas fuentes en el auditorio de Bellas Artes indica que el sistema de ventilación y aire acondicionado del espacio requiere la eliminación de energía térmica del orden de 153.68 kW. Este valor debe ser utilizado como base para el diseño e implementación de un sistema de HVAC apropiado que mantenga un confort térmico consistente y eficiente en el auditorio.

4.2.3 Elegir los equipos de ventilación y climatización adecuados en función de los cálculos realizados en las actividades anteriores.

Esta sección trata sobre la elección de los equipos de ventilación y climatización más apropiados para el Auditorio de Bellas Artes de Ocaña, Norte de Santander, considerando los cálculos realizados con anterioridad. Es necesario poder asegurar que los sistemas seleccionados puedan tener control sobre el caudal de ventilación y las cargas térmicas, conservando así un confort térmico y de calidad del aire adecuado para los usuarios del espacio. La decisión de dichos equipos depende de diferentes criterios técnicos y logísticos.

Factores para la selección de equipos

Para realizar una correcta selección de los equipos y sistemas de ventilación y climatización se deben tomar en cuenta los 4 factores claves que se detallan a continuación:

Caudal de ventilación necesario: El cálculo determinó que el caudal de ventilación requerido es 17,179.4 m³/h.

Carga térmica total a remover: El calor que se debe extraer para mantener el confort térmico del auditorio es 142.59 kW (equivalente a 486,500 BTU/h), el cual corresponde al enfriamiento auditivo.

Capacidad actual del sistema: 14 aires acondicionados de 48,000 BTU/h ha. Entonces su total es 672,000 BTU/h.

Pérdidas de presión totales: Se estima que las pérdidas de presión en el sistema son de 75.38Pa.

Volumen del auditorio: el volumen del auditorio es de 2454.2 m³.

Selección del Sistema de Ventilación A

Para seleccionar apropiadamente los ventiladores dentro del sistema de ventilación, tres elementos básicos son cruciales:

Caudal de ventilación requerido: En este caso, es fundamental confirmar que el ventilador seleccionado puede mover un caudal de aire que cumpla con los requisitos, en este caso 17,179.4 m³/h.

Pérdidas de presión totales: El ventilador seleccionado tiene que ser capaz de generar la presión necesaria para sobrepasar las pérdidas de presión en el sistema. En este caso, la presión total requerida es 75.38 Pa.

Eficiencia energética: A la hora de escoger el ventilador, resulta primordial que su eficiencia sea alta, porque dicha elección minimiza el gasto de energía, favoreciendo así el cuidado del medio ambiente y los costos operativos.

Cálculo de la presión total mínima necesaria

Para determinar un flujo eficiente de aire, es necesario establecer la presión total mínima que debe generar el sistema de ventilación. Esta se puede calcular sumando las pérdidas de presión en los diferentes componentes del sistema:

Pérdida en el ducto principal: 31.79 Pa.

Pérdida promedio en ductos secundarios: 43.59 Pa.

La ventilación de la presión total requerida para el sistema es, por lo tanto:

$$\textit{Presion total requerida} = 31.79\text{Pa} + 43.59\text{Pa} = 75.38\text{Pa}$$

Este valor de 75.38 Pa es la presión mínima que el ventilador debe generar para asegurar un rendimiento adecuado del sistema de ventilación.

Selección del ventilador adecuado

Con base en la investigación realizada, se seleccionará un ventilador que cumpla con los siguientes criterios:

Un caudal de 17,179.4 m³/h.

Presión de 75.38 Pa o superior.

Eficiencia energética óptima.

Nivel de ruido ≤ 75 dB(A)

Después de realizar la investigación de opciones disponibles en el mercado, se ha seleccionado el modelo de ventilador SODECA.

El modelo PF/EC-1663-4T-5.5-IE5 de Sodeca se presenta como la opción más adecuada. Este modelo destaca por:

Sodeca PF/EC-1663-4T-5.5-IE5 cumple con los requisitos por ventilación con su exacto caudal de 17,179.4 m³/h.

Niveles de ruido controlados (≤ 75 dB(A)), lo que asegura un entorno acústico confortable para el auditorio.

El cumplimiento de la norma permite al usuario una menor factura energética ya que se cuenta con consumos eficientes.

Sodeca es una empresa especializada en soluciones de ventilación industrial, lo que hace que este modelo sea una opción confiable para satisfacer las demandas técnicas del Auditorio de Bellas Artes.

La selección correcta de sistemas de ventilación y climatización es importante para mantener la confortabilidad en el auditorio. Los cálculos realizados han dado los valores necesarios para escoger un ventilador que satisfaga las demandas del sistema en términos de

confort térmico, energético, y confort acústico; además, se debe apoyar la recuperación de energía térmica. La opción elegida PF/EC-1663-4T-5.5-IE5 de Sodeca, cumple con todos los requerimientos, asegurando el desempeño óptimo en el sistema de ventilación del auditorio.

Figura 6

Ventilador SODECA Modelo OF/EC-1663-4T-5.5-IE



Nota. (Catálogo SODECA 2025)

La Figura 6 muestra el ventilador SODECA OF/EC-1663-4T-5.5-IE Model, que es un componente crítico en el sistema de ventilación diseñado para el Auditorio de Bellas Artes. Este ventilador está específicamente diseñado para una circulación de aire efectiva, especialmente en áreas densamente pobladas, para las exigentes necesidades de ventilación y para espacios con un alto nivel de ocupación. Su diseño robusto y eficiencia, junto con el bajo consumo energético, ayudan a optimizar el sistema de ventilación en el auditorio. Además, la capacidad de este ventilador para manejar grandes tasas de flujo de aire es fundamental para mantener condiciones ideales de confort térmico durante los picos de asistencia. Su integración en el sistema apoya una circulación de aire óptima y mejora la calidad del aire interior, lo cual es esencial para la salud y el confort de las personas en el auditorio.

Este modelo sobresale por su diseño robusto y eficiente, el cual es capaz de mantener el flujo de aire requerido para cumplir con los estándares de ventilación y confort térmico en el Auditorio de Bellas Artes de Ocaña.

Con un caudal nominal de 17,179.4 m³/h, este ventilador sobrepasa los requisitos de circulación de aire para espacios de gran volumen. Además, se caracteriza por su eficiencia, lo que se traduce a un bajo consumo energético y un desempeño adecuado para la climatización y ventilación del auditorio. La selección de este ventilador resulta clave para el cumplimiento de las condiciones de confort térmico y calidad del aire, necesarias para un ambiente saludable.

Los ventiladores SODECA han sido diseñados para operar a un nivel de ruido que no supere 75 dB(A). Este particular es determinante en espacios como auditorios donde el confort acústico resulta crítico en la experiencia del público. La opción expuesta en clase permite controlar estos parámetros con óptimos resultados en relación a la incomodidad acústica.

Para concluir, podemos decir que este ventilador resuelve de manera práctica los requerimientos de espacios amplios y con alta concentración de personas, como los auditorios, en los que el consumo de energía, el flujo de aire y el control del ruido son determinantes para un buen funcionamiento del sistema de climatización y ventilación.

Figura 7*Características Técnicas de Ventiladores SODECA Modelo PF/EC***Características técnicas**

Modelo	Velocidad (r/min)		Intensidad máxima admisible (A)		Potencia instalada	Caudal máximo	Nivel presión sonora ¹ dB (A)	Peso aprox.
	mín.	máx.	230V	400V	(kW)	(m³/h)	Irradiado	(Kg)
PF/EC-925-2M-0.5-IE5	500	3000	3,30		0,37	2180	61	21
PF/EC-925-2T-0.5-IE5	500	3000		0,79	0,37	2180	61	18
PF/EC-1028-2M-1-IE5	500	3000	5,90		0,75	3255	64	24
PF/EC-1028-2T-1-IE5	500	3000		1,55	0,75	3255	64	20
PF/EC-1028-4M-0.33-IE5	200	1500	2,30		0,25	1630	49	22
PF/EC-1028-4T-0.33-IE5	200	1500		0,51	0,25	1630	49	20
PF/EC-1031-2T-2-IE5	500	3000		4,42	1,50	4540	68	24
PF/EC-1031-4M-0.33-IE5	200	1500	2,30		0,25	2270	53	23
PF/EC-1031-4T-0.33-IE5	200	1500		0,51	0,25	2270	53	22
PF/EC-1135-2T-4-IE5	400	3000		5,75	3,00	6670	71	36
PF/EC-1135-4T-0.5-IE5	200	1500		0,75	0,37	3335	56	27
PF/EC-1240-2T-5.5-IE5	500	3000		7,58	4,00	9300	75	40
PF/EC-1240-4T-0.75-IE5	200	1500		1,10	0,55	4650	60	29
PF/EC-1445-4T-1.5-IE5	200	1500		2,16	1,10	6775	64	41
PF/EC-1650-4T-3-IE5	200	1500		4,20	2,20	10290	77	54
PF/EC-1856-4T-5.5-IE5	200	1500		7,48	4,00	15480	71	65
PF/EC-1663-4T-5.5-IE5	200	1420		7,48	4,00	19770	76	75
PF/EC-1871-4T-10-IE5	200	1500		13,00	7,50	25670	85	115
PF/EC-1871-6T-5.5-IE5	200	900		7,48	4,00	16320	74	100

¹ Nivel de presión sonora irradiada en dB(A) a 3 m de distancia a caudal máximo.

Nota. (Catálogo SODECA 2025)

Como se detalla en la Figura 7, están los ventiladores SODECA Modelo PF/EC cuyos datos son de suma importancia para el diseño del sistema de ventilación del Auditorio de Bellas Artes. En esta tabla se describe la velocidad, intensidad máxima admisible, potencia instalada, caudal máximo, nivel de presión sonora, irradiación y peso aproximado de cada modelo. La selección del ventilador se encuentra optimizada en base a la eficiencia del sistema de ventilación en relación al tamaño del auditorio, el caudal de aire requerido, y los parámetros acústicos. Otros modelos serán utilizados en espacios de menor demanda, mientras que los modelos con mayores caudales, como el PF/EC-1028-4T-5-IE, que tiene un caudal máximo de 3255 m³/h, serán los ideales para el uso en espacios con mayor capacidad. Los datos de presión sonora son igualmente relevantes a la no incomodidad de los ruidos externos que puedan ser provocados por el sistema de ventilación, por el contrario, durante los eventos se busca que los

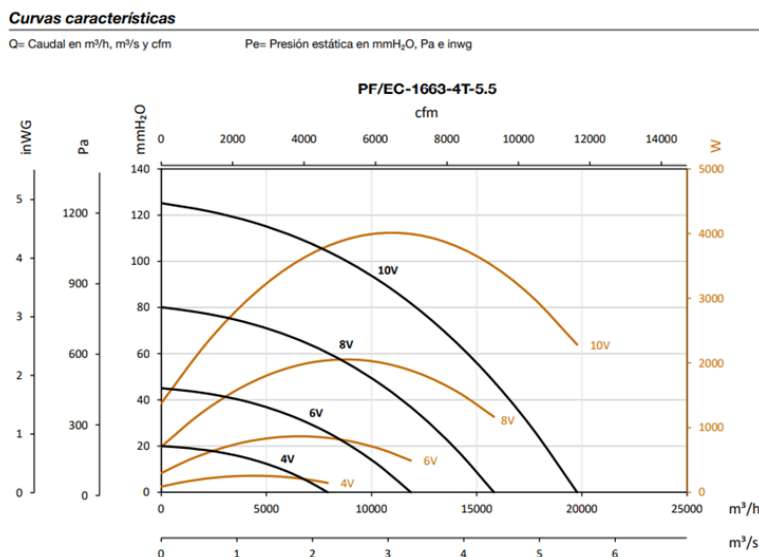
usuarios se sientan cómodos. Esta tabla permite tomar las decisiones que se requieran para alcanzar los metas de indicadores de eficiencia energética y de la calidad del aire.

Con estos ventiladores se puede cubrir una amplia gama de requisitos de ventilación en aplicaciones industriales. Además, Estos dispositivos son reconocidos por la flexibilidad ante la necesidad de potencia y caudal, que va desde 2180 m³/h hasta 26670 m³/h. De este modo, se asegura que existe un ventilador adaptado a las necesidades del espacio o sistema, optimizando la eficiencia del caudal de aire y el consumo energético.

El nivel de presión sonora también representa un factor importante, sobre todo en contextos donde existe la necesidad de proteger el confort de los usuarios, como en auditorios o en espacios de trabajo. Los valores de la tabla oscilan entre 58 dB(A) y 74 dB(A), por lo que se puede asegurar que los ventiladores seleccionados generan un nivel de ruido apropiado en relación con los entornos que son sensibles al sonido.

Los ventiladores de esta serie poseen características de irradiación que permiten su uso en distintas configuraciones de instalación, asegurando de este modo eficiencia termodinámica y ventilación sin comprometer la calidad del aire. La selección del ventilador adecuado debe realizarse considerando la evaluación de estos parámetros, el caudal requerido, la potencia, y el nivel de ruido por cada proyecto particular.

Finalmente, la tabla resumida presenta de manera ordenada las soluciones de ventiladores industriales y de climatización SODECA, lo que simplifica la elección del equipo en diversas aplicaciones, como el auditorio de Bellas Artes donde el control y la cantidad de aire son primordiales en su insonorización.

Figura 8*Curvas Características del Ventilador SODECA PF/EC-1663-4T-5.5*

Nota. (Catálogo SODECA 2025)

La figura 8 muestra las curvas características del ventilador SODECA PF/EC-1663-4T-5.5. Aquí se representa el caudal de aire (Q) y la presión estática (Pe) del ventilador. El nivel de voltaje (de 4V a 10V) sirve como función para las curvas de presión, lo que permite evaluar la reacción de la eficiencia del ventilador a diversas condiciones operativas. Dicho análisis, como regla general, es útil para el cálculo preciso de los parámetros de ventilación y garantiza que el ventilador seleccionado cumpla con los requisitos operativos del auditorio en relación con el caudal de aire y la presión estática.

En el eje horizontal se tiene el caudal de aire tanto en m³/h como m³/s, y en el eje vertical izquierdo se tiene la presión estática en Pascales (Pa) o mmH₂O, y en el eje vertical derecho el consumo de potencia.

Las curvas de presión estática (en negro) y las curvas de potencia (en naranja) muestran la relación entre la potencia o presión estática consumida y el caudal de aire para diferentes voltajes (10V, 8V, 6V, 4V). Este comportamiento resulta fundamental en la evaluación del

rendimiento y la eficiencia del ventilador, por lo que se debe realizar un análisis al operar el ventilador en distintas condiciones de operación.

Con respecto a la presión, el gráfico indica que el aumento del caudal de aire resulta en una disminución de la presión estática, lo cual es común en sistemas de ventilación. Además, en cuanto al caudal y potencia, se infiere que un aumento en el caudal genera un aumento en el consumo energético. Su identificación en la regulación óptima del sistema durante el funcionamiento, facilita la elección del ventilador en un sistema de climatización o ventilación, dado que este gráfico ayuda a determinar el punto de operación más adecuado considerando el caudal necesario y la presión que el sistema requiere.

El análisis de estas curvas es necesario para asegurar que el ventilador escogido pueda satisfacer las solicitudes del flujo de aire y presión estática, en especial para el uso y confort del volumen en el auditorio, que demandan control del flujo de aire y ahorro operativo. La eficiencia en el consumo energético también es indispensable.

Como resumen, esta figura permite realizar un análisis más profundo y detalla la comparación del rendimiento de diferentes modelos de ventiladores SODECA, simplificando su selección e implementación en sistemas de ventilación y climatización.

Consideraciones adicionales en el diseño y selección de equipos de ventilación y climatización:

Variadores de frecuencia (VFD): En el sistema de ventilación y acondicionamiento de aire, los variadores de frecuencia son dispositivos que permiten lograr una mayor optimización del sistema. Con estos dispositivos, se puede modificar el flujo de aire en función de la demanda del espacio, mejorando así la eficiencia energética. El consumo de energía y la eficiencia del sistema se optimizan mediante la reducción del gasto energético en el funcionamiento de los

ventiladores con (ASHRAE, 2021). La instalación de VFD permite alcanzar los objetivos de flexibilidad, sostenibilidad y bajo costo operacional, al mismo tiempo que se cumplen los criterios de disminución del consumo energético.

Diseño de ductos: El diseño de la red de ductos tiene una gran influencia en la efectividad del sistema de ventilación. Su construcción implica el uso de conductos de una presión y de materiales adecuados, así como un trazado óptimo que evite el uso excesivo de codos y cambios de dirección. Un diseño eficiente no solo reduce las pérdidas y mejora el desempeño del sistema como un todo, mas también el consumo energético global. Por otra parte, la selección adecuada del ducto puede generar menor fricción del aire, mejorando el flujo y desgaste del sistema (Carrier, 2020).

Certificaciones y normas de calidad: Para cualquier equipo o sistema que se pretenda seleccionar, es necesario comprobar que se cumplan las certificaciones y normativas internacionales las cuales garanticen la calidad, eficiencia y el cuidado del medio ambiente. Equipos tienen que someterse a normativas medioambientales como ISO 14001 y a normativas medioambientales de control de ruido como ISO 3744 en auditorios donde el control acústico es crítico para el confort de los usuarios (International Organization for Standardization [ISO], 2021). Estas certificaciones ayudan a mejorar el desempeño de los equipos y permiten alcanzar el bienestar ambiental comprometido como estándares de la industria.

Selección del sistema de aire acondicionado: Sistema B

Selección del Chiller

Para satisfacer la carga térmica total del auditorio, que es de aproximadamente 524,377.92 BTU/h (153.68 kW), se ha seleccionado el siguiente equipo de refrigeración:

Marca: Schneider Electric

Modelo: ERCC1221A

Tipo: Chiller reversible enfriado por aire

Compresores: Scroll de alta eficiencia

Refrigerante: R410A ecológico

Capacidad nominal: 160 kW

El Chiller da valor agregado para auditorio ya que supera completamente sus necesidades. Primero, su capacidad nominal de 160 kW supera la carga térmica calculada de 153.68 kW, lo cual nos otorga un margen de seguridad amplio para el calentamiento o enfriamiento en el caso de ocupar el espacio e incluso durante condiciones climáticas cambiantes. Este margen de seguridad permitirá que el sistema opere durante estos periodos sin sufrir de eficiencia.

El uso escaso de mantenimiento, como el bajo costo operativo que proporciona el sistema, se debe a los compresores scroll que brindan eficiencia energética. Por otro lado, el cumplimiento de las regulaciones en torno al refrigerante de R410A que es ecoamigable brindan efectos positivos en el medio ambiente, lo cual es un bonus adicional.

Otra característica importante del modelo seleccionado es que es reversible. Esto significa que el equipo no solo sirve para enfriar; también puede calentar el ambiente si en el futuro se requiere control climático dual, lo que aumenta la flexibilidad y versatilidad del sistema de control climático.

Finalmente, la integración con los fancoils de tipo cassette seleccionados anteriormente rompe acerca de la distribución de aire, lo que permite una distribución de temperatura eficiente y homogénea por zonas. Esto optimiza el control climático para los requisitos específicos de cada zona en el auditorio, asegurando la comodidad de los ocupantes.

Compatibilidad con el diseño

La climatización racional del recinto considera la correcta instalación y posicionamiento del chiller en relación a la red de tuberías que se recircula al fan coils para optimizar logísticamente el sistema. El acceso a realizar mantenimiento y servicio se simplifica si el chiller se monta externamente o en cuartos técnicos, ofreciendo una mayor rapidez en el mantenimiento, revisión, y reparación.

La configuración del sistema permite hacer una instalación override en el auditorio que, simple estructura y diseño, ofrece un Balance Aero térmico Schneider Electric - ERCC1221A. Esto no solo asegura que el sistema de climatización del Auditorio de Bellas Artes no sufrirá problemas de sobrecalentamiento, lo cual lo hace eficiente en consumo y operación, además, la flexibilidad y sostenibilidad también son características destacables del mismo.

Figura 9

Chiller Schneider Electric - ERCC1221A



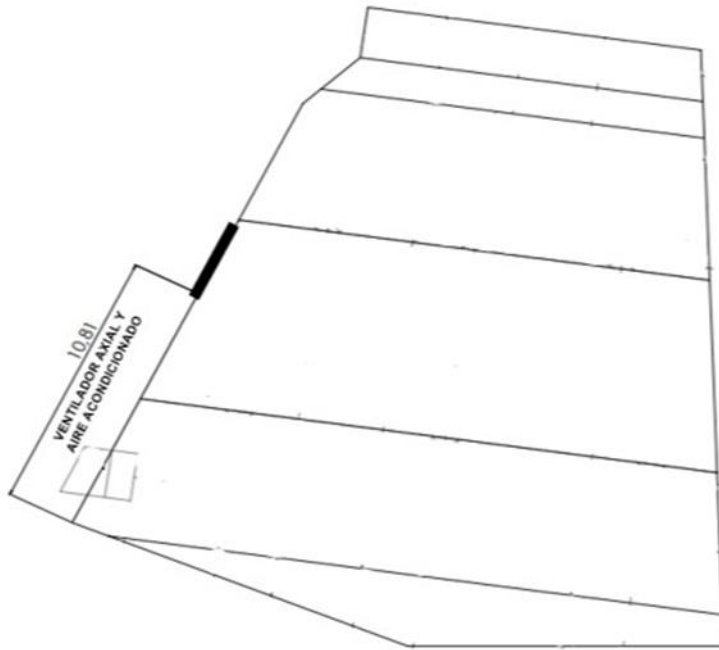
Nota. (Sketchfab, 2025)

La Figura 9 presenta el modelo de Chiller Schneider Electric ERCC1221A, una unidad de refrigeración de alto rendimiento diseñada para sistemas de aire acondicionado de grandes dimensiones, como el que se requiere para el auditorio de Bellas Artes. Este equipo es crucial para garantizar la eficiencia energética y la correcta temperatura en el espacio, funcionando en conjunto con el sistema de circulación de aire diseñado previamente. El Chiller contribuye a mantener el ambiente térmico adecuado para los asistentes y equipos del auditorio, optimizando el confort y la calidad del aire.

La auditoría y el diseño operacional con Schneider Electric – ERCC1221A, aseguran no solo el cumplimiento de la carga térmica en el climatizador del Auditorio de Bellas Artes, sino también un uso eficiente, flexible, y sostenible del sistema. De esta forma se mantienen los confort para los usuarios y se acatan los límites medioambientales y operacionales definidos en el proyecto.

Este tipo de sistemas son particularmente útiles en aquellas instalaciones que requieren altas capacidades de refrigeración, tales como auditorios, grandes edificios de oficinas o centros comerciales, dado que su capacidad nominal de 160 kW permite atender cargas térmicas de hasta 524,377.92 BTU/h, tal como el auditorio que analizamos.

Su diseño es compacto y por lo tanto modular, facilitando la instalación y el mantenimiento del mismo. Su eficiencia no se ve comprometida si se instala en lugares reducidos o al aire libre. Cumpliendo también con estándares ambientales, hace uso de refrigerante R410A, un gas que no contribuye al agotamiento de la capa de ozono, por lo que lo hace amigable con el medio ambiente.

Figura 10*Cuarto de Máquinas del Auditorio de Bellas Artes*

Nota. (Construcción propia, 2025)

La Figura 10 ilustra el diseño para el “Cuarto de Máquinas” del “Auditorio de Bellas Artes,” que es un espacio importante para la colocación y el funcionamiento de los sistemas de climatización y ventilación del auditorio. Este cuarto albergará los sistemas de circulación de aire, incluyendo el Chiller y ventiladores, lo que permite un flujo de aire constante y eficiente a lo largo del complejo. La colocación adecuada de los dispositivos de control en el “Cuarto de Máquinas” es esencial para el funcionamiento eficiente del sistema de aire acondicionado y para mantener las condiciones térmicas deseadas para los asistentes y el equipo dentro del auditorio.

Como se indicó en las secciones anteriores, el almacenamiento de repuestos no es ni grande ni sofisticado. Por lo tanto, debe coincidir en términos de diseño y construcción con los

sistemas de refrigeración y ventilación ubicados en el TAM real. En resumen, la estructura arquitectónica y las funciones implementadas en el auditorio se verán positivamente influenciadas por un funcionamiento bien considerado, un diseño adecuado y relaciones espaciales armonizadas del equipo en todo el TAM.

Además, el diseño modular y compacto del sistema permitirá una integración eficiente con los fancoils de tipo cassette y otros sistemas de distribución de aire, garantizando que el sistema de control climático funcione de manera óptima durante las variaciones de carga térmica en el auditorio. El espacio también debe cumplir con los criterios de ventilación y ruido para garantizar la eficiencia operativa, así como el confort no solo dentro del auditorio, sino también en sus alrededores.

Este diseño es fundamental para mantener niveles constantes de temperatura y humedad en el auditorio para mantener a los usuarios cómodos, al tiempo que minimiza el consumo de energía y cumple con las regulaciones ambientales.

Figura 11

Fan Coil Tipo Cassette Marca Excell



Nota. (Refripartes, 2020)

Como se muestra en la Figura 11, un Fan Coil de tipo cassette Excell es uno de los componentes más importantes en el sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado del Auditorio de Bellas Artes. Esta unidad de Fan Coil está montada en el techo y suministra aire acondicionado en cuatro direcciones. Su diseño compacto y funcional la hace adecuada para instalaciones con espacio limitado, lo que es ideal para el amplio auditorio. Elegir este equipo ayuda a asegurar un mejor control de la temperatura y la calidad del aire, mejorando así la experiencia de los asistentes.

La configuración del Fancoils mejora la altura del espacio, lo que es útil para la instalación, pero también no compromete la estética y la acústica del edificio. Estas características son muy importantes en un entorno de alto uso como el centro de cultura y arte. Además, la distribución del aire con este tipo de unidades asegura la uniformidad del aire para minimizar zonas muertas o puntos calientes en el espacio.

El bajo nivel de ruido y la alta eficiencia energética de este modelo de Excell son características que son esenciales para espacios como auditorios, donde el confort térmico ambiental debe acompañar al silencio con el fin de garantizar una experiencia de calidad para los usuarios. Finalmente, se destaca la facilidad de mantenimiento que ofrece la marca, ya que reduce el tiempo de inactividad del sistema, asegurando un funcionamiento continuo y eficiente.

Selección de los Equipos de Climatización Fan Coil

Basado en la carga térmica total calculada para el auditorio, se estableció que, para mantener el nivel de confort de temperatura, humedad y velocidad del aire junto con los estándares previamente definidos, se necesita suministrar un valor de 524377.92 BTU/h, que equivale a 153.68 kW. Para abordar esta demanda eficiente y flexible en el cumplimiento de los requisitos, se seleccionó el siguiente equipo.

Equipo: 9 unidades Fan Coil de la marca Excell.

Tipo: Fan Coil de cassette de 4 vías de 60,000 BTU/h, adecuado para instalación empotrada en techos falsos con distribución de aire de 360°.

Cada unidad seleccionada de Fan Coil cubre una fracción proporcional de la carga térmica total y se coloca en el auditorio para lograr homogeneidad térmica. La configuración tipo cassette utiliza la altura disponible, fusionándose perfectamente con el techo suspendido y sin comprometer la estética y la acústica del espacio. Además, las unidades seleccionadas proporcionan eficiencia energética, bajo nivel de ruido operativo y facilidad de mantenimiento, todos críticos para el funcionamiento óptimo del auditorio.

Elegir 9 unidades permite zonificar el sistema de control climático según la ocupación real y los horarios de los eventos. Esto proporciona un ahorro de energía significativo al ofrecer un control climático personalizado para cada área.

Distribución

Se colocarán las unidades de forma equidistante a lo largo de la red de distribución en espina de pescado que ya ha sido diseñada. Esto garantiza:

Total, cobertura del área de ocupación.

Reducción de áreas muertas o hot spots.

Conformidad con la red hidráulica alimentada por el chiller principal.

Con la selección de estas 9 unidades Fan Coil tipo cassette Excell, se asegura el confort térmico requerido, la eficiencia energética, y la adecuada climatización del Auditorio de Bellas Artes, permitiendo su uso para diversas actividades.

4.2.4 Calcular la Energía Necesaria para Operar el Sistema de Refrigeración

Requisitos de Energía

Los requisitos estimados de energía para un sistema de refrigeración consideran dos factores principales: el consumo total de energía en kilovatios (kW) y el costo operativo estimado basado en las tarifas eléctricas locales. Se presentarán pasos detallados para calcular ambos factores individualmente.

Consumo Energético (kW)

El consumo de electricidad para el sistema de refrigeración se determina utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Consumo (kW)} = \frac{153.68 \text{ kW}}{\text{EER}}$$

Donde EER (Tasa de Eficiencia Energética) es la eficiencia de la energía que consume el equipo, para chillers enfriados por aire con compresores scroll y refrigerante R410A, generalmente oscila entre 2.8 y 3.2. Estimando el valor de EER = 3, los cálculos serían los siguientes:

$$\text{Consumo (kW)} = \frac{153,68 \text{ kW}}{3} = 51,23 \text{ kW}$$

Por lo tanto, el consumo energético total del sistema es de 51.23 kW.

Costos Operativos

Para estimar el costo operativo se consideran el consumo de energía y los tipos tarifarios eléctricos de la región. Para obtener este valor, se tiene que calcular:

$$\text{Costo operativo por hora} = \text{Consumo (kWh)} \times \text{Horas}$$

Ahora se calculará el costo operativo con la tarifa de **1055 COP/kWh**:

$$\text{Costo operativo por hora} = 51.23 \text{ kWh} \times 1055 \frac{\text{COP}}{\text{kWh}} = 54,047.65 \text{ COP}$$

Usando esta fórmula, es posible estimar tanto los costos operativos diarios como mensuales basados en las horas de utilización del sistema. Supongamos un promedio de utilización mensual de 7 horas al día durante 21 días al mes. El cálculo sería:

Costo operativo diario (7 horas de uso):

$$\text{Costo diario} = 50,144.15 \times 7 = 378,333.55 \text{ COP/día}$$

Costo operativo mensual (21 días, 7 horas diarias):

$$\text{Costo mensual} = 378,333.55 \text{ COP/día} \times 21 \text{ días} = 7,945,004.55 \text{ COP/mes}$$

Resumen de Requisitos Energéticos

Consumo energético total mensual: 6,986.91 kWh/mes

Costo operativo por hora: 54,047.65 COP

Costo diario (7 horas/día): 378,333.55 COP

Costo mensual (21 días, 7 horas/día): 7,945,004.55 COP

En el uso de aire acondicionado, se proyecta un consumo mensual de 6,986.91 kWh con un costo operativo de 54,047.65 COP por hora. Usando un promedio de 7 horas por día durante 21 días operativos en un mes, el costo total del sistema sería de 7,945,004.55 COP.

Capacidad Total Instalada

El sistema de refrigeración consta actualmente de 14 unidades de aire acondicionado, cada una con una capacidad de 48,000 BTUs/hora. Para calcular la capacidad total instalada, se realiza el siguiente cálculo:

$$Capacidad\ total\ (BTU/h) = 14 \times 48,000 = 672,000\ BTU$$

Convirtiendo la capacidad de BTU a kilovatios (kW), utilizando la conversión $1\ kW \approx 3,412\ BTU/h$, tenemos:

$$Capacidad\ total\ (kW) = \frac{672,000}{3,412} = 197\ kW$$

La capacidad total instalada actual es de 197 kW.

Determinar el Consumo Eléctrico

Al calcular el consumo eléctrico, se utiliza el EER real del sistema. Se estima que los sistemas de aire acondicionado mini-split montados en la pared convencionales fabricados hace varios años sin tecnología inverter tienen un EER de aproximadamente 2.5. Dado esto, el cálculo para el consumo eléctrico sería:

$$\text{Consumo eléctrico (kW)} = \frac{\text{Capacidad total (kW)}}{EER}$$

$$\text{Consumo eléctrico actual} = \frac{197}{2.5} = 78.8 \text{ kW}$$

Costo Operativo Estimado

El cálculo del costo operativo del sistema actual, considerando la tarifa de 1,055 COP/kWh, es el siguiente:

Costo operativo por hora:

$$\text{Costo operativo por hora} = 78.8 \times 1,055 = 83,134 \text{ COP/hora}$$

Costo operativo diario (7 horas de uso):

$$\text{Costo operativo diario} = 83,134 \times 7 = 581,938 \text{ COP/día}$$

Costo operativo mensual (21 días de uso):

$$\text{Costo operativo mensual} = 581,938 \times 21 = 12,220,698 \text{ COP/mes}$$

Consumo mensual estimado:

$$\begin{aligned}\text{Consumo mensual estimado} &= 78.8 \text{ kW} \times 7 \text{ horas/día} \times 21 \text{ días} \\ &= 11,594.4 \text{ kWh/mes}\end{aligned}$$

Resumiendo, el consumo mensual estimado de los aires acondicionados en operación es de 11,594.4 kWh/mes a un costo asociado de operación mensual de 12,220,698 COP.

Tabla 19

Comparativa Directa de los Sistemas de Refrigeración

Concepto	Sistema actual	Sistema propuesto
Capacidad de refrigeración	197 kW	153.68 kW (ajustada)
Consumo eléctrico (kW)	78.8 kW	51.23 kW
Costo operativo por hora	83,134 COP	54,047.65 COP
Costo operativo mensual	12,220,698 COP	7,945,004.55 COP
Consumo mensual (kWh)	11,594.4 kWh	6,986.91 kWh

Nota. (Construcción propia, 2025)

La Tabla 19 muestra una comparación directa entre los dos sistemas del equipo de refrigeración; el que actualmente está en uso y el propuesto para el Auditorio de Bellas Artes. Esta comparación incluye la capacidad de refrigeración, el consumo eléctrico y los costos de operación por hora y por mes. Esta comparación ilustra la efectividad del sistema propuesto en el contexto de la reducción del consumo de energía y la disminución de los costos operativos. La capacidad de refrigeración reducida, que es una función de los requisitos del auditorio, ilustra el diseño mejorado del sistema que no degrade la calidad ambiental interior.

Capacidad de Refrigeración

El sistema actual posee una capacidad de refrigeración de 197 kW, mientras que el sistema propuesto tiene una capacidad revisada de 153.68 kW. Aunque el sistema propuesto tiene una capacidad de refrigeración más baja, está afinado de manera más eficiente para la demanda térmica calculada del auditorio. Esto, a su vez, sugiere que el nuevo sistema se adapta mejor a las condiciones operativas reales.

El consumo eléctrico en la implementación actual se sitúa en 78.8 kW, mientras que el sistema propuesto tiene un consumo de 51.23 kW. Esto significa que con el nuevo sistema se logra un ahorro del 35% en consumo energético. El sistema propuesto equipa la empresa con un mayor nivel de eficiencia, y esto se traduce en un uso más racional y cuidadoso de los recursos energéticos y en el impacto que se tiene sobre el medio ambiente.

Por otra parte, el sistema vigente se posiciona con un valor de 83,134 COP de gasto operativo por hora, el sistema propuesto, a su vez, contabiliza 54,047.65 COP. Esto se traduce a una baja aproximada del 35% en el gasto operativo por hora, lo que indica una mayor eficiencia en la energía y en gasto en operación.

Costo Operativo Mensual:

Comparando ambos sistemas, el sistema actual genera un costo operativo mensual de 12,220,698 COP, mientras que el propuesto reduce este costo a 7,945,004.55 COP. Además de reducir el costo operativo al implementar el sistema propuesto, el mismo aumenta la eficiencia energética en un 35% lo cual es significativo desde el punto de vista de la sostenibilidad económica a largo plazo.

Consumo Mensual (kWh):

El consumo mensual del sistema actual es de 11,594.4 kWh. En este caso el sistema propuesto consume 6,986.91 kWh mensual. Este ahorro de más del 40% en el consumo energético mensual ilustra claramente la mejora en la eficiencia del nuevo sistema de climatización.

La comparación entre el sistema vigente y el alternativo revela que el nuevo diseño mejora la eficiencia energética mientras reduce de forma considerable los costos operativos, tanto de forma horaria como mensual. Al mismo tiempo, el sistema propuesto cubre mejor los requerimientos del auditorio, logrando los niveles de confort térmico requerido. En conclusión, el sistema de refrigeración propuesto hace un mejor uso de la energía, minimiza los costos y logra los objetivos de desempeño fijados, con lo que constituye una opción más sustentable y económica para el Auditorio de Bellas Artes.

4.3 Diseño del sistema de ductos y la red de distribución del aire, teniendo en cuenta la distribución del espacio y las necesidades específicas del auditorio, con el fin de mejorar el flujo de aire, mitigar la estancación de contaminantes y optimizar el rendimiento del sistema, así como el ahorro de energía.

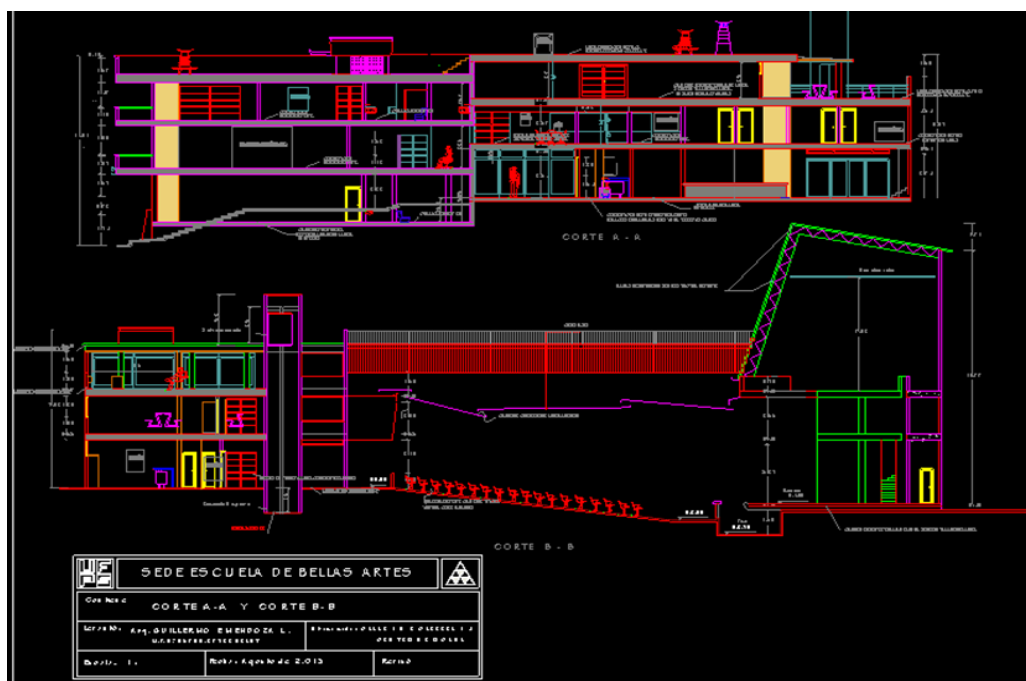
La gestión del sistema de conductos y de la red de distribución de aire, así como la logística del flujo de aire, sirven como la columna vertebral para mantener un ambiente cómodo y saludable dentro del Auditorio de Bellas Artes. Este tipo de trabajo requiere prestar atención no solo a las características estructurales del espacio, sino también a las necesidades del auditorio, como la carga de ocupación, la disposición del mobiliario y las condiciones térmicas y acústicas acogedoras requeridas. Lograr los objetivos relacionados con la disposición de los conductos y la red de distribución tiene como objetivo mejorar la tasa de flujo de aire para eliminar áreas estancadas de contaminación y apoyar la circulación uniforme del aire. De este modo, el

rendimiento del sistema de aire acondicionado se optimiza al evitar la sobrecarga del sistema debido al flujo de aire acondicionado y mejorar la eficiencia energética, contribuyendo así al ahorro de energía. En este sentido, se propone una estrategia integrada que tiene como objetivo no solo cumplir con las regulaciones de confort sobre condiciones térmicas y calidad del aire, sino también mejorar la eficiencia operativa del sistema de ventilación y refrigeración, reduciendo costos mientras se aumenta la sostenibilidad del auditorio a largo plazo.

4.3.1 Trazado preliminar del sistema de ductos a partir de un boceto 2d del auditorio

El objetivo de esta actividad es desarrollar un boceto preliminar para el sistema de conductos de ventilación utilizando un plano de planta 2D de El Auditorio de Bellas Artes. La adopción del diseño será de tipo 'esqueleto de pez'; un diseño esquemático eficiente que es favorable para la distribución uniforme del aire en grandes espacios muy poblados, como las aulas universitarias. Esta disposición favorece el establecimiento de corrientes de convección para mantener el aire bien mezclado dentro de la sala, reduciendo la estancación del aire y, por lo tanto, mejorando considerablemente la climatización del espacio.

Para esta etapa, se elaboró un boceto preliminar basado en un plano en planta 2D del auditorio, el cual fue construido en escala con medidas reales en unidades métricas. En este caso, el plano brinda una imagen cabal y exacta en relación a la estructura y organización espacial del auditorio. Esto facilita la toma de decisiones óptimas frente al venteo y la red de ductos a establecer. Con estos datos, se elaboran los ductos, priorizando la eficiencia de flujo de aire, la acomodación al espacio, así como los requerimientos de confort térmico. Adicionalmente, se procura minimizar el consumo energético del sistema de ventilación para proteger al medio ambiente.

Figura 12*Corte A-A y Corte B-B del Auditorio Bellas Artes**Nota. (Auditorio Bellas Artes, 2025)*

La figura 12 muestra las secciones transversales A-A y B-B del Auditorio Bellas Artes. Estos cortes revelan internamente la distribución espacial que incluye el espacio asignado para el escenario, la configuración de asientos y las áreas técnicas del auditorio. La información descrita es importante con respecto a la integración de los sistemas arquitectónicos de aire acondicionado, ventilación y refrigeración al diseño arquitectónico, porque espacialmente el aire acondicionado debe distribuirse a lo largo del espacio de manera eficiente y térmicamente satisfactoria para todos los usuarios.

Sistema A: Diseño del Sistema de Ventilación

Tipo de distribución

Para el diseño del sistema de ventilación del Auditorio Bellas Artes, se eligió la distribución en espina de pez. Esta configuración particular funciona bien en espacios largos y amplios como auditorios, porque necesitan una distribución uniforme del aire. El sistema consta de un conducto central longitudinal principal del cual se ramifican conductos secundarios perpendiculares para llevar el aire a los difusores ubicados en todo el auditorio.

La primera elección para esta distribución se basó en una serie de ventajas operativas y técnicas, tales como:

Distribución uniforme del caudal de aire: Asegura el flujo constante y adecuado de aire en toda la zona de ocupación, lo que resulta esencial para mantener el confort del ambiente térmico para los asistentes.

Facilidad de integración con sistemas centralizados: Esta configuración se acomoda con facilidad a los sistemas de climatización centralizados, como los chillers con manejadoras de aire o sistemas VRV/VRF, permitiendo la conexión directa entre el difusor y el sistema generador de aire.

Simplicidad estructural y de montaje: La disposición en espina de pescado facilita la instalación, haciéndola más económica, lo cual se traduce a la reducción de los costos de obra y de implementación en general.

Este diseño, ofrece una fundamentación funcional confiable para posteriormente realizar el modelado tridimensional del sistema, asegurando que todos los criterios técnicos exigidos desde el inicio se han cumplido a cabalidad en el proyecto.

Consideraciones para el esbozo inicial del calibrado de difusores y salidas de aire, así como del cálculo preliminar de sus dimensiones

Se decidió realizar ocho difusores de aire, los cuales serán colocados en el techo del auditorio en equidistante. Dicha disposición busca la necesidad de obtener una cobertura uniforme en toda el área de ocupación evitando zonas de estancamiento o deficiencia en el suministro.

Los difusores serán espaciados de acuerdo con la geometría del espacio, del cual se toman en cuenta la longitud, ancho y altura en el caso del auditorio para asegurar que el aire se distribuya con eficacia en todo el volumen disponible.

El caudal requerido por difusor también debe considerarse, pues se requiere un cierto volumen de aire para cubrir la demanda térmica para cada sección del recinto. Según el cálculo total ventilatorio, este se estima en $17,179.4 \text{ m}^3$ por hora, así obteniendo el promedio por difusor se tiene un caudal individual de $2,147.43 \text{ m}^3$.

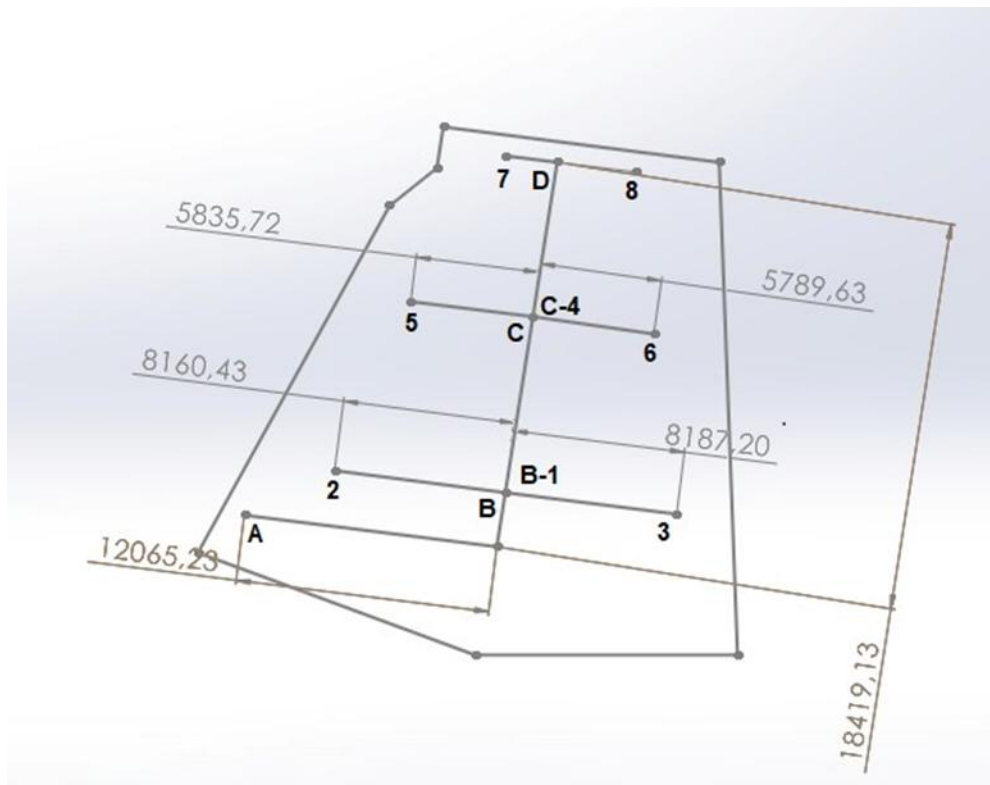
Mantener que la velocidad del flujo de aire esté dentro de 5 m/s permite el confort térmico de los ocupantes del edificio mientras se evita la generación de ruido molesto y corrientes de aire desagradables.

Para reducir las pérdidas de presión en el sistema de ventilación, es más eficiente mantener la instalación de los conductos de ramificación secundarios desde el conducto principal hasta cada difusor lo más directa posible. Esta lógica se aplicó para cada conducto de ramificación.

El diseño efectivo de los sistemas de ventilación, particularmente para espacios grandes como auditorios, exige que tanto la eficiencia energética como el confort térmico de los usuarios se equilibren durante la operación del sistema.

Figura 14

Boceto preliminar del trazado del sistema de ductos en el Auditorio de Bellas Artes.



Nota. (Construcción propia, 2025)

En la Figura 14, se encuentra un esbozo inicial acerca de la distribución de los sistemas de conductos de ventilación para el Auditorio de Bellas Artes. El vuelo muestra la posición de los difusores de ventilación con su escala, así como también los niveles de secciones transversales del auditorio que se relacionan con los ductos. Este diseño es esencial porque facilita el control de la distribución del aire en las diferentes zonas del auditorio y, de esta forma, se pueden climatizar y deshumidificar las zonas críticas del auditorio y también el control del clima. También, proporciona el recorrido para la instalación de los ductos que minimiza la obstrucción de otros sistemas e instalaciones, cumpliendo con las normativas de seguridad y acceso.

El sistema de tuberías del Auditorio de Bellas Artes fue desarrollado utilizando SOLIDWORKS. El diagrama muestra una vista superior de los conductos que deben construirse para permitir la circulación adecuada de aire dentro del espacio, para lograr el funcionamiento óptimo del sistema de ventilación. En este caso, los conductos primarios y secundarios están proporcionados para ofrecer una distribución equilibrada de aire a todas las secciones dentro del espacio, cumpliendo así con los requisitos de ventilación del auditorio. En este caso, los conductos primarios y secundarios están proporcionados para ofrecer una distribución equilibrada de aire a todas las secciones dentro del espacio, cumpliendo así con los requisitos de ventilación del auditorio. El uso de SOLIDWORKS ayuda, en este caso, a obtener representaciones precisas y claras, acelerando así la toma de decisiones sin comprometer los requisitos técnicos del diseño.

Los diferentes segmentos de la figura indican las longitudes de los conductos, las conexiones, las ramas secundarias y las ramas secundarias que distribuirán aire desde el conducto principal hasta los difusores en el techo del auditorio. Este sistema está diseñado para eliminar áreas de aire caliente o frío estancado y evitar problemas comunes de distribución de aire, como la estasis de contaminantes o la circulación ineficiente. En resumen, esta figura es crítica en la progresión del proyecto porque proporciona una visión paso a paso de toda la red de conductos que soportará el sistema HVAC del auditorio.

Sistema B: Sistema Complementario con Fancoils

Como medida suplementaria al sistema principal que utiliza conductos configurados en un estilo de espina de pescado, se propuso la instalación de fan coils ubicados estratégicamente dentro del auditorio. Esta solución está diseñada para lograr una optimización del control térmico

a nivel zonal, proporcionando así mayor flexibilidad operativa y mayor eficiencia energética en comparación con un sistema de conducto único.

A partir de un boceto bidimensional del auditorio, se establecieron ocho posiciones preliminares para los fancoils. Fueron ubicados de manera equidistante y homogénea a través del espacio. Este diseño ofrece las siguientes ventajas:

La cobertura completa de la zona ocupada se proporciona sin la existencia de puntos calientes o espacios no acondicionados, promoviendo así el confort térmico en todo el auditorio.

Distribución equilibrada de la carga térmica calculada anteriormente, donde cada unidad de fancoils contribuye con una fracción proporcional de la capacidad total requerida para mantener las condiciones térmicas deseadas.

Facilidad de conexión a la hidráulica del sistema de refrigeración principal (chiller), lo que permite optimizar las rutas de las tuberías y, por lo tanto, minimiza las pérdidas de energía.

Fácil instalación en el falso techo donde los fancoils se alinean con las columnas del auditorio y otros elementos estructurales, lo que simplifica el soporte mecánico y reduce el costo de instalación.

El diseño de cada fancoils permite su operación de manera independiente, lo cual facilita modular el flujo de aire, así como la temperatura, dependiendo de las necesidades reales del auditorio y el número de personas que lo ocupan en un momento determinado. Esto optimiza la eficiencia energética, ya que el sistema reduce consumo en los espacios que no demandan climatización. Sumado a esto, la disposición simétrica de los fancoils contribuye a la uniformidad en la distribución del aire, incrementando la efectividad del sistema.

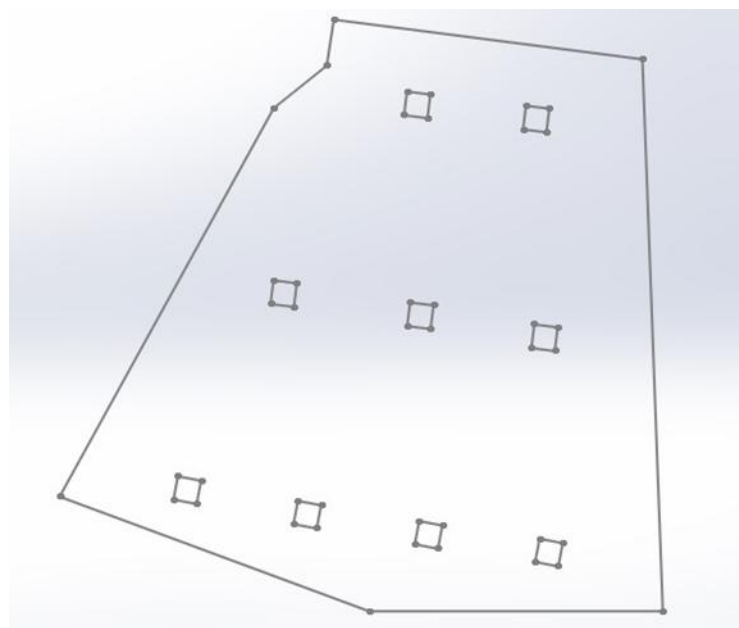
El sistema de tuberías del Auditorio de Bellas Artes fue desarrollado utilizando SOLIDWORKS. El diagrama muestra una vista superior de los conductos que deben construirse

para permitir la circulación adecuada de aire dentro del espacio, para lograr el funcionamiento óptimo del sistema de ventilación. En este caso, los conductos primarios y secundarios están proporcionados para ofrecer una distribución equilibrada de aire a todas las secciones dentro del espacio, cumpliendo así con los requisitos de ventilación del auditorio. En este caso, los conductos primarios y secundarios están proporcionados para ofrecer una distribución equilibrada de aire a todas las secciones dentro del espacio, cumpliendo así con los requisitos de ventilación del auditorio.

El uso de SOLIDWORKS ayuda, en este caso, a obtener representaciones precisas y claras, acelerando así la toma de decisiones sin comprometer los requisitos técnicos del diseño.

Figura 15

Ubicación preliminar de los fancoils en el Auditorio Bellas Artes



Nota. (Construcción propia, 2025)

La Figura 15 ilustra el diseño final de las unidades de fancoil en el Auditorio de Bellas Artes. Muestra las últimas posiciones de los fancoils que fueron instalados en el auditorio de tal manera que hay una cobertura óptima en todas las áreas. Se ha tenido cuidado con respecto a las

posiciones de los fancoils para que el sistema de aire acondicionado funcione de manera efectiva, proporcionando aire frío a la audiencia sentada y a las áreas operativas del auditorio. Este diseño final se ha desarrollado considerando la zonificación, circulación del aire y comodidad de los invitados.

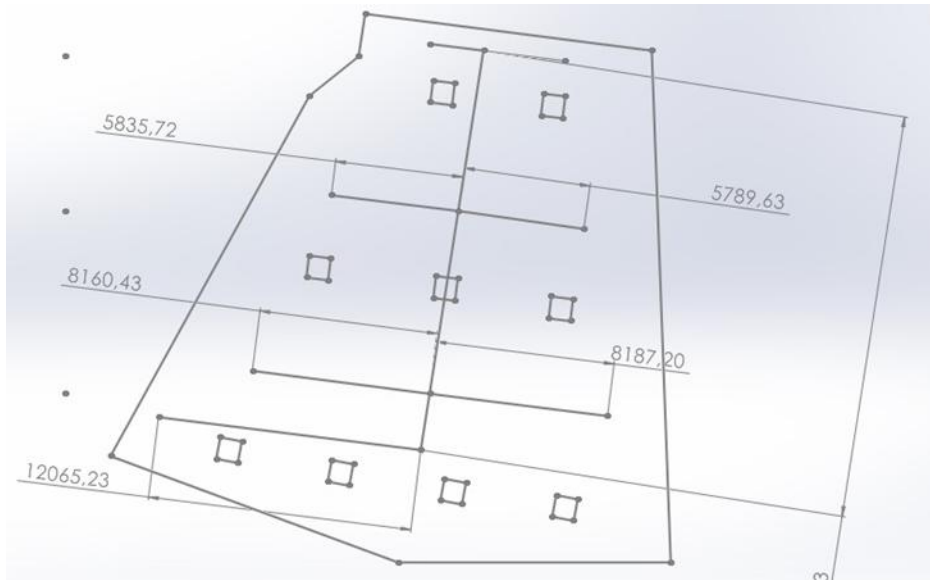
El boceto preliminar creado con SOLIDWORKS del sistema de distribución de fancoils para El Auditorio Bellas Artes. Los puntos mostrados en la figura marcan las posiciones estratégicas de nueve unidades de fancoil colocadas a intervalos iguales a lo largo del auditorio. Estos puntos se muestran en la vista 2D del auditorio donde se instalarán los fancoils en el techo suspendido para asegurar la mejor distribución del aire.

Esta configuración tiene como objetivo lograr una circulación uniforme de aire acondicionado en toda el área servida sin la presencia de puntos calientes o espacios no acondicionados. Dado que las unidades de aire acondicionado son modulares, cada unidad de fancoil puede operar de manera independiente. Este diseño modular permite que el control de temperatura y flujo de aire se adapte a la ocupación real del espacio. Este enfoque optimiza la eficiencia energética, mejora el control térmico y mantiene el confort térmico.

Además, las ubicaciones de los fancoils se seleccionaron de manera simétrica para ayudar a la distribución uniforme del aire mientras se observa la geometría del espacio, incluido el techo falso. Este enfoque reduce la complejidad de la instalación y minimiza las pérdidas de energía al conectar los fancoils al sistema hidráulico de los chillers. Esta síntesis preliminar puede ajustarse durante la modelación 3D en SolidWorks para garantizar la compatibilidad y consistencia del sistema con el sistema de ventilación y aire acondicionado.

Figura 16

Distribución final de los fancoils en el Auditorio Bellas Artes



Nota. (Construcción propia, 2025)

Como se muestra en la Figura 16, el diseño final de las unidades de fancoil incluye el Auditorio de Bellas Artes. Este dibujo muestra las ubicaciones finales de los fancoils, que, tal como están instalados, cubren de manera óptima el auditorio. También se ha realizado un esfuerzo considerable para asegurar que los fancoils se encuentren en ubicaciones que permitan al sistema de aire acondicionado operar de manera efectiva, entregando aire frío tanto al público sentado como a las áreas operativas del auditorio. Este diseño final se ha elaborado teniendo en cuenta la arquitectura del espacio, la circulación del aire y el confort de los invitados.

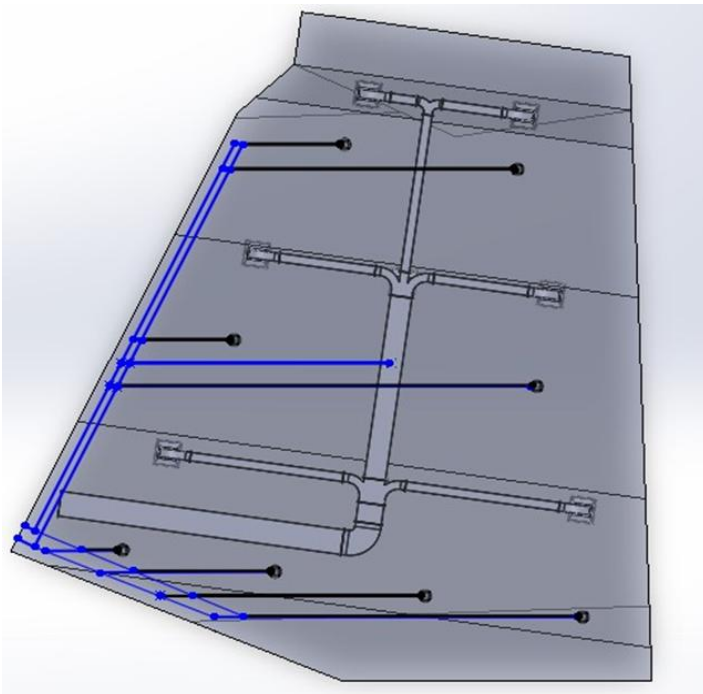
Utilizando el software SOLIDWORKS, se creó el diseño final de los fancoils de distribución en el Auditorio Bellas Artes. En este diseño, son visibles las ubicaciones de las unidades de fancoil que se van a instalar. Están colocadas en el espacio con líneas que denotan las conexiones entre ellas. El plano ilustra una distribución espacial equilibrada y efectiva destinada a optimizar el flujo de aire y el control térmico dentro del auditorio.

Las ubicaciones de las unidades fancoils se han seleccionado para garantizar que toda el área ocupada esté completamente cubierta, asegurando que cada zona reciba un flujo de aire constante y equilibrado. Los conductos de ramificación que conectan cada unidad a la red de suministro principal se han configurado para reducir las pérdidas de presión, mejorando así la eficiencia energética y el rendimiento general del sistema.

El diseño también toma en consideración las dimensiones del espacio; por ejemplo, la longitud, el ancho y la altura del auditorio son partes que informan la colocación de los fancoils. Su conexión a los enfriadores y el simple montaje en el techo suspendido aseguran la preservación estética y acústica del auditorio mientras ofrecen una integración completa. Este diseño sigue siendo un avance esencial hacia un sistema de control climático operativamente flexible y receptivo para el auditorio.

Figura 17

Trazado de la red de tuberías de refrigerante para el sistema de climatización



Nota. (Construcción propia, 2025)

Como se muestra en la Figura 17, se presenta la red de tuberías del refrigerante para el sistema de aire acondicionado "Auditorio de Bellas Artes". Este diagrama muestra las interconexiones entre las unidades de aire acondicionado y los fancoils, donde circula el fluido refrigerante necesario para el funcionamiento del sistema. Su diseño se ha realizado considerando criterios que minimicen el gasto de energía y de refrigerante al igual que el gasto de caldeo, y enfriamiento del auditorio, garantizando la calefacción y refrigeración apropiada del mismo. Esta red, junto a otras que se describirán más adelante, es clave para el correcto desempeño del sistema de confort y refrigeración, ayudando al confort térmico y al mismo tiempo a la eficiencia energética del edificio.

Se realizó el diseño detallado de la red de evaporador de los 9 fan coils de tipo cassette Excell conectados al chiller principal. Su diseño se realizó en SolidWorks, por lo que se cuenta con una representación precisa y técnica de los tubos. El sistema muestra las conexiones principales que distribuyen el refrigerante a cada unidad de fan coils, manteniendo la temperatura requerida en el auditorio.

En el sistema, las líneas azules y negras tienen un significado específico. Las azules indican el recorrido que siguen el refrigerante y el suor hacia el enfriador y a los diferentes puntos de distribución y las líneas negras conectando los ductos de nivel inferiores. El diseño está optimizado para no violar las reglas de consumo de energía, cumpliendo con legislaciones pertinentes sobre el mantenimiento de energía, al mismo tiempo que permite realizar un mantenimiento en el futuro.

Este arreglo no solo garantiza la adecuada circulación del refrigerante, sino que también simplifica la instalación del sistema en el auditorio, alineando las tuberías con las ubicaciones predeterminadas para los fancoils. La construcción de esta red de tuberías es crítica para el

funcionamiento efectivo del sistema de aire acondicionado, ya que permite una distribución uniforme de la carga térmica.

Descripción del esquema del sistema de distribución de aire

El diseño propuesto para el sistema de ventilación del Auditorio de Bellas Artes utiliza un esquema de distribución tipo “espina de pescado”. Este modelo es particularmente ventajoso en espacios amplios con geometrías alargadas como auditorios debido a su eficiente distribución del flujo de aire. El sistema consiste en un conducto longitudinal con ramas secundarias que alimentan difusores de aire ubicados en todo el espacio (Gómez, 2021).

Este diseño fue seleccionado por sus ventajas, que incluyen:

La distribución homogénea del flujo de aire, asegurando que un suministro de aire suficiente y continuo llegue a cada parte de la zona ocupada.

Su fácil sinergia con sistemas de climatización centralizados, como chillers o sistemas VRF/VRV, que permiten una ruta directa desde el generador hasta los difusores.

Simplicidad estructural y de montaje, que minimiza los costos de instalación y acelera la finalización del proyecto.

Criterios sobre la colocación de unidades terminales de aire y dimensionamiento preliminar

El sistema está diseñado para tener 8 difusores de techo ubicados equidistantemente a lo largo del auditorio, lo que asegura la cobertura uniforme en toda la zona ocupada y elimina áreas de aire estancado con acumulación de calor. Se consideraron dos aspectos fundamentales para el espaciado de los difusores:

La forma del espacio, su longitud, ancho y altura.

La tasa de flujo de aire a través de cada difusor necesaria para satisfacer la demanda térmica en esa parte particular del auditorio.

Con base en cálculos previos, el flujo de ventilación total requerido es de 17,179.4 m³/h, lo que implica que cada difusor necesitaría una tasa de flujo de aire individual de 2,147.425 m³/h. Este valor es crítico para el dimensionamiento de los ductos secundarios, asegurando que la velocidad del aire no exceda los 5 m/s, lo que es fundamental para mantener condiciones de confort y prevenir irritantes térmicos en el auditorio (López & Ruiz, 2019).

El arreglo de los ramales secundarios fue hecho de forma que líneas directas desde el ducto principal hacia cada difusor minimizaran la presión y la cantidad de codos o cambios de dirección. Este método no solo favorece la efectividad del sistema, también reduce el consumo de energía de las bombas de circulación.

Función y propósito del sistema

La configuración asegura que cada difusor recibe el flujo de aire necesario para la temperatura constante del auditorio. Adicionalmente, la red de ductos permite la operación modular y zonificada del sistema, climatizando en función a la ocupación del espacio. Esto genera confort en el espacio y permite un uso eficiente de la energía y una distribución balanceada de la carga térmica.

Resultados de la traza de planificación inicial

La traza preliminar de los sistemas de conductos delineó un conducto principal que atraviesa longitudinalmente la sección media del auditorio. Sirve para alimentar once ramas que conducen hacia los difusores de aire, garantizando una distribución uniforme del aire. Las ramas con etiquetado secuencial facilitan la identificación en la vista del plano y posteriormente en el

modelado en 3D. Cada rama está diseñada teniendo en cuenta un caudal de aire, velocidad del aire e integración en la construcción.

Con la instalación de 9 unidades de fancoils se puede atender todo el espacio del auditorio. Los fancoils distribuidos permiten un control térmico zonal debido a su operación independiente, lo que simplifica el mantenimiento y promueve la eficiencia energética (Cano & Pérez, 2018).

4.3.2 Realizar el modelado tridimensional del sistema de distribución de aire en SolidWorks

El objetivo de esta práctica es transformar el diseño preliminar del sistema de ductos en un modelado tridimensional usando SolidWorks, verificando así las dimensiones, el orden de los componentes y la factibilidad de construcción del sistema durante la distribución del aire para el auditorio. Este modelo virtual permitirá comprobar que todos los elementos son compatibles y que no hay interferencia en el diseño, así como en la realización de la obra programada.

Se utilizó el modelo 3D del auditorio y sus medidas para situar correctamente el ducto principal junto a los ramales y difusores secundarios. Para modelar en tres dimensiones, se utilizaron las medidas del auditorio que ya habían sido definidas en un plano 2D. Estas proporciones eran esenciales para construir un ambiente virtual que replicara la estructura del auditorio, ayudando a posicionar de manera precisa el ducto principal, los ramales y los difusores. Bim es un modelo de información que incluye el entorno 3D de SolidWorks y es primordial al diseño ya que busca dar solución a los requerimientos técnicos y a las condiciones espaciales del auditorio (Caldentey, 2020).

SISTEMA A: Selección de materiales para los ductos

La selección de materiales para los ductos es importante, ya que ellos garantizan la eficiencia, durabilidad y la facilidad en la instalación del sistema de ventilación. En este caso, se

optó por el uso de lámina galvanizada (acero galvanizado calibre 24 o 26) por sus características técnicas, tales como:

Alta resistencia a la corrosión, ideal para instalaciones interiores.

Sencillez en la fabricación y ensamblaje, en especial para tramos rectangulares con uniones tipo brida o Pittsburgh.

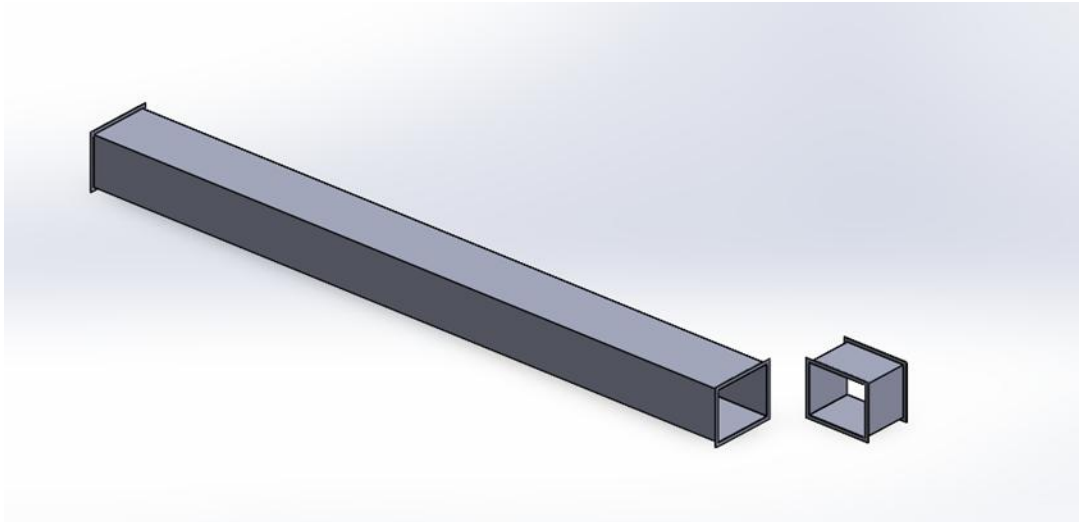
Compatibilidad con sistemas de aislamiento térmico y acústico, que en algunos casos puede ser requerido para atenuar el ruido o evitar la pérdida de calor.

Cumplimiento internacional como SMACNA y regulaciones locales RETILAP.

Este material garantiza que los ductos serán duraderos y eficientes, además de permitir una fácil instalación y un eficiente mantenimiento, que son fundamentales para la operatividad del sistema de climatización (López, 2018).

Componentes del sistema de modelado

En esta fase del proyecto, se llevó a cabo el modelado tridimensional de los principales componentes del sistema de distribución de aire utilizando herramientas de modelado paramétrico de SolidWorks. Esto permitió ensamblar virtualmente los conductos, difusores y conexiones de fancoils y verificar que todo el sistema encajara dentro del espacio disponible.

Figura 18*Modelado 3D del Ducto Principal*

Nota. (Construcción propia, 2025)

En la Figura 18 se ilustra el modelado 3D del conducto principal utilizado para el sistema de ventilación del Auditorio de Bellas Artes. Este conducto, como se muestra en la imagen, es una parte fundamental del sistema de distribución del aire y está destinado a transportar el aire acondicionado desde el sistema central hasta las unidades de distribución ubicadas en el auditorio. El diseño del conducto ha sido mejorado para garantizar que el flujo de aire sea eficiente con una mínima caída de presión, lo que aumenta la eficiencia energética del sistema y el rendimiento general de climatización.

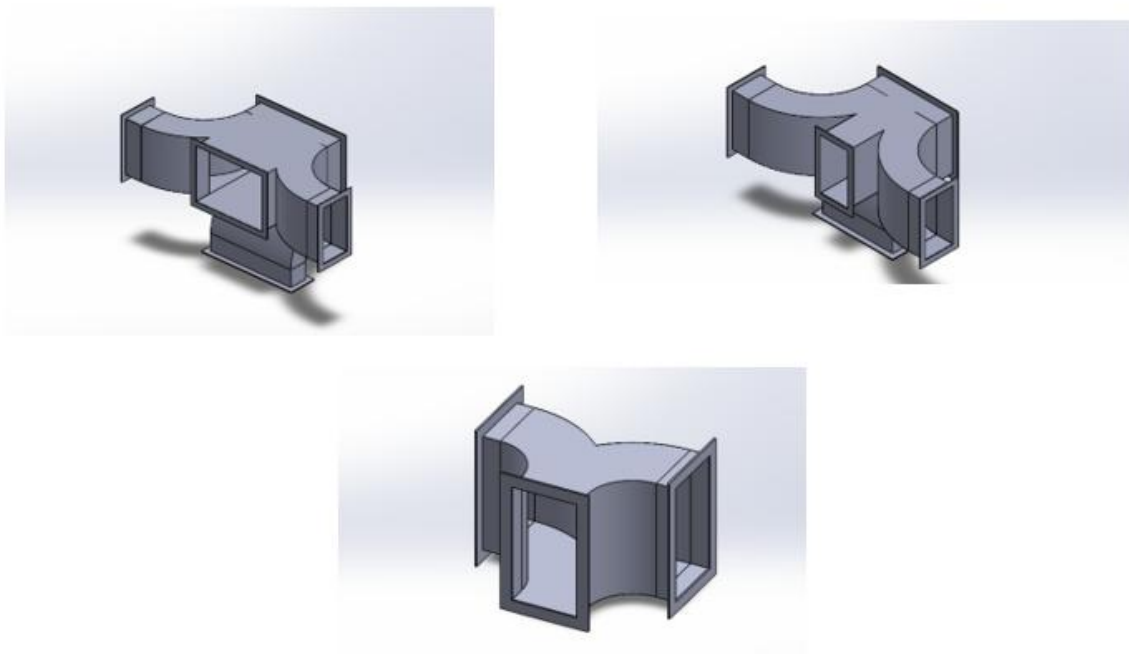
Se crean modelos tridimensionales del conducto para el sistema de distribución de aire del auditorio. Es importante que este conducto esté posicionado longitudinalmente en el espacio, ya que es fundamental para la distribución equilibrada del aire acondicionado en todo el auditorio. El diseño sugiere un conducto con sección transversal rectangular, que ha sido diseñado para acomodar el flujo de aire requerido según cálculos previos.

El modelo 3D generado en SolidWorks verifica las relaciones espaciales y funcionales de las juntas y componentes del sistema, y comprueba sus relaciones espaciales y funcionales con la instalación, confirmando así la practicidad y funcionalidad del sistema. Además, este modelado ayuda a predecir errores de diseño con los componentes estructurales, como columnas y techos, que pueden interferir con la colocación del conducto y el rendimiento del sistema.

La validación de este modelo sirve para agilizar la construcción del conducto principal, acelerando así los plazos y costos relacionados con el proyecto.

Figura 19

Divisiones o derivaciones del ducto principal hacia los ramales secundarios - Modelo 3D



Nota. (Construcción propia, 2025)

En la Figura 19, se muestra el modelo 3D con las subdivisiones o ramas del conducto principal con sus ramas secundarias. Este diseño es de gran importancia en relación con la distribución de aire en el auditorio porque permite un control efectivo de las zonas y promueve

un flujo de aire equilibrado en todo el espacio. Las ramas interconectan el conducto principal con los fancoils y otros puntos de distribución, asegurando así que la climatización se entregue a las zonas específicas de manera equilibrada y rentable. Este modelo 3D ayuda a desarrollar una comprensión del sistema de conductos, facilitando así su instalación y operación.

Las modelos 3D de las subdivisiones o ramas del conducto principal del sistema. Se conectan con los terminales secundarios. Estos componentes son esenciales en el diseño de un sistema de distribución de aire porque permiten la redirección del flujo de aire del conducto principal a diferentes regiones del auditorio. Estas ramas están diseñadas estratégicamente para garantizar una distribución balanceada del flujo de aire, así como una pérdida de presión mínima.

La geometría del auditorio se ha considerado en el diseño de las derivaciones, lo que ayuda en gran medida a mejorar la efectividad del sistema. Con el uso de herramientas de modelado 3D en SolidWorks, es posible representar con precisión las dimensiones y el funcionamiento de cada parte dentro del sistema de conductos. Las ramas de los conductos están diseñadas para conservar energía; por lo tanto, se incrementa la eficiencia energética general dentro del sistema de ventilación.

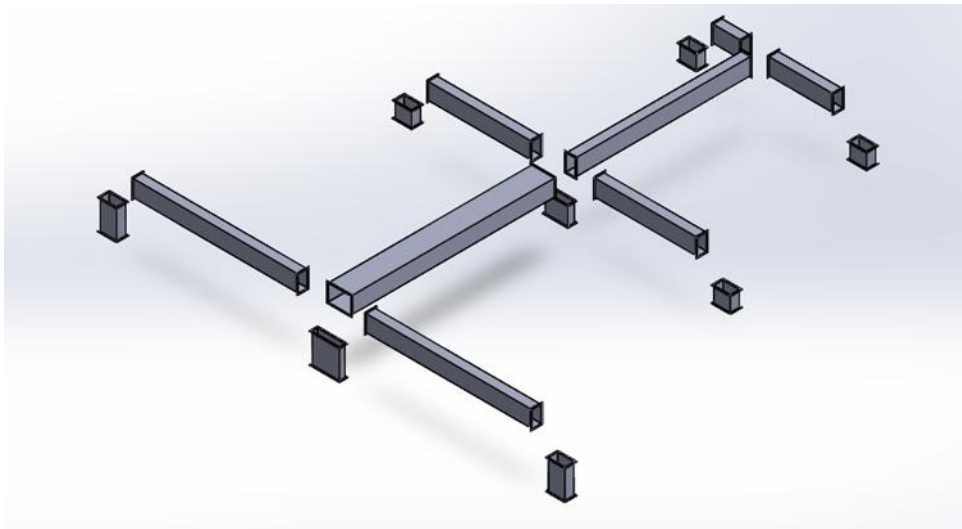
El diseño de la distribución primario-secundario/sucursal, aseguraron que cada ramal secundario fuese dotado del volumen de aire necesario para despejar la carga térmica del auditorio sin producir estancamientos o zonas de deficiencia de aire. Esto resulta vital para conseguir que la temperatura cameral sea, equilibrada, homogénea y confortable para todos los asistentes, en concordancia con el confort térmico especificado en el proyecto.

Como síntesis de la información, las ilustraciones muestran los componentes más relevantes en el diseño de la red de distribución de aire del auditorio, garantizando la eficiencia

en la distribución del aire, minimización del desperdicio de energía y el control óptimo de la ventilación en función a la demanda del volumen del espacio.

Figura 20

Ductos secundarios - Modelo 3D, diseñados en función del caudal individual de cada difusor



Nota Construcción propia, 2025.

La Figura 20 muestra un modelo 3D de los ductos secundarios que han sido diseñados considerando los requisitos individuales de flujo de aire para cada difusor. Esto permite una distribución de aire más efectiva en el auditorio. Garantiza que la distribución de aire se logre de manera uniforme y en cumplimiento con los requisitos del sistema HVAC del auditorio. Los ductos secundarios bien diseñados y colocados adecuadamente son críticos para el sistema de ventilación activa del auditorio, ya que ayudan a mantener el nivel de confort térmico preferido de manera continua en diferentes zonas del auditorio.

En el modelo 3D, los conductos secundarios están personalizados para cada flujo de los difusores individuales en el sistema de distribución de aire del auditorio. Los conductos son esenciales para lograr la correcta distribución de aire acondicionado o ventilación en cada zona

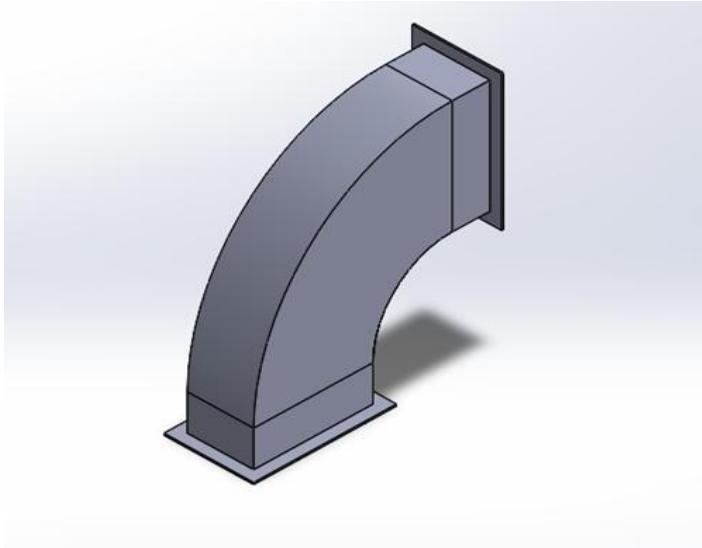
del auditorio, proporcionando así un control óptimo de la temperatura y la calidad del aire del lugar.

Para cada difusor, el conducto ha sido diseñado con dimensiones específicas en relación con el caudal y la velocidad límite del aire en circulación. Este diseño garantiza que la velocidad del flujo de aire no supere los 5 m/s, un umbral que es crítico para evitar ruidos y corrientes de aire desagradables en el auditorio.

Además, la disposición de los conductos secundarios ha sido diseñada para minimizar la pérdida de presión, mejorando así la eficiencia energética del sistema de ventilación. La forma y disposición de los conductos han sido modificadas, tanto como sea posible, a la geometría del auditorio para lograr una distribución equilibrada del aire.

Para resumir, las medidas correctivas resultantes del diseño de los conductos secundarios tienen una relación directa con el rendimiento del sistema de aire acondicionado en términos de confort térmico general y el funcionamiento efectivo del auditorio. Este enfoque, que incluye el uso de software en 3D para modelado de precisión, asegura que la funcionalidad y eficiencia del sistema se ajusten a las condiciones operativas del espacio.

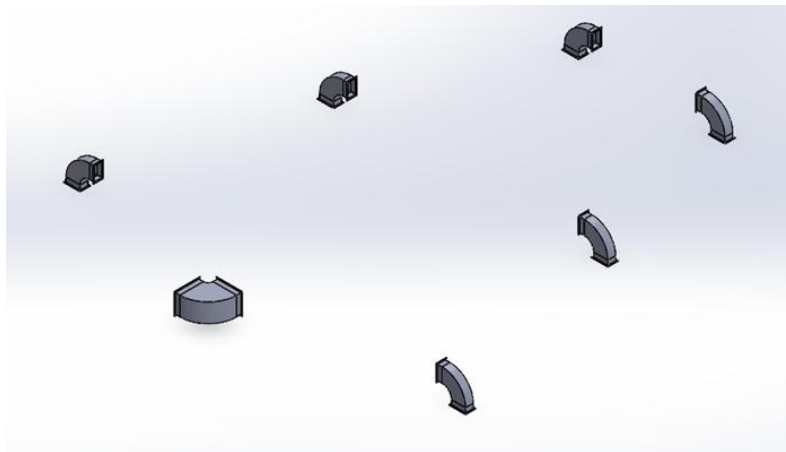
Codos: utilizados para los giros de las líneas de derivación y optimizados para la pérdida de presión.

Figura 21*Codo de Ducto*

Nota. (Construcción propia, 2025)

En la Figura 21, vemos un codo de conducto utilizado en el sistema de ventilación del Auditorio de Bellas Artes. Este componente es vital para dar forma al flujo de aire en el sistema de conductos y permite modificar el flujo de aire según los requisitos de diseño. Los codos de conducto son muy importantes para mantener el flujo de aire en un sistema de conductos de manera continua sin pérdidas de presión considerables. Aseguran una distribución adecuada del flujo de aire a las superficies de ventilación y difusores. El diseño en 3D del codo demuestra claramente su posición en el sistema de conductos y cómo garantiza una circulación adecuada del flujo de aire dentro del auditorio.

El codo del conducto mostrado sirve como equipo auxiliar en un sistema de ventilación y se utiliza para cambiar la dirección del flujo de aire. La curvatura del codo, junto con sus respectivos materiales, reduce la pérdida de presión. Este componente es esencial para el mantenimiento de un flujo de aire suave y no turbulento que es crítico para el rendimiento del sistema.

Figura 22*Conjunto de Codos**Nota.* (Construcción propia, 2025)

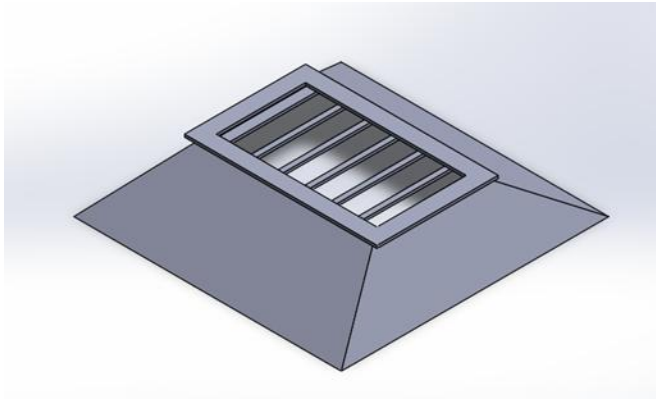
La Figura 22 muestra un conjunto de codos utilizados para el sistema de conductos del Auditorio de Bellas Artes. Estos codos son partes necesarias para cambiar la dirección del flujo de aire dentro del sistema de ventilación. Como se puede ver en la imagen, hay diferentes tipos de codos, cada uno con una geometría particular, utilizados para redirigir eficientemente el flujo de aire hacia los puntos de distribución. Si estas partes se utilizan correctamente, ayudan a mantener la efectividad del sistema, reducen las pérdidas de presión en el flujo de aire y mejoran el sistema de aire acondicionado en su conjunto.

Se pueden ver varios codos de diferentes tamaños y configuraciones. La variabilidad en el diseño se debe a las características particulares del auditorio, con giros a lo largo de los pasajes de los ductos. Al igual que el primer codo descrito, estos elementos también están destinados a conservar la circulación del aire sin crear presión de retroceso adicional, lo que optimiza aún más el rendimiento general del sistema de ventilación.

Difusores de Techo: 8 unidades distribuidas de forma equidistante.

Figura 23

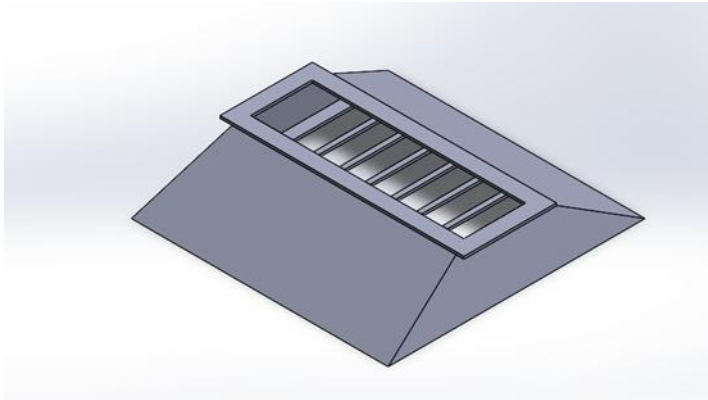
Difusor de Techo Tipo Cuadrado



Nota. (Construcción propia, 2025)

Como se ve en la Figura 23, hay un difusor de techo cuadrado utilizado en el sistema de control climático del Auditorio de Bellas Artes. Este difusor está destinado a proporcionar aire acondicionado al auditorio, asegurando un control apropiado de la temperatura del aire acondicionado y distribuyéndolo adecuadamente por el espacio disponible. Este difusor está diseñado para el suministro eficiente, constante e ininterrumpido de aire, evitando turbulencias y maximizando el flujo de aire en la zona ocupada. Su ubicación en el techo proporciona conservación del espacio y contribuye al confort térmico de las personas en el auditorio.

El contorno del difusor de 4 vías de la figura corresponde a un cuadrado, típico de los auditorios ya que permite una difusión de aire 360 radial, que evita la formación de puntos calientes o corrientes de aire molestas. Su instalación empotrada garantiza que no se afecte la estética del espacio, al igual que su uso en sistemas de aire acondicionado y ventilación mecánica lo hace en espacios amplios y de gran altura, la hace muy eficiente.

Figura 24*Detalle de Difusor de Techo*

Nota. (Construcción propia, 2025)

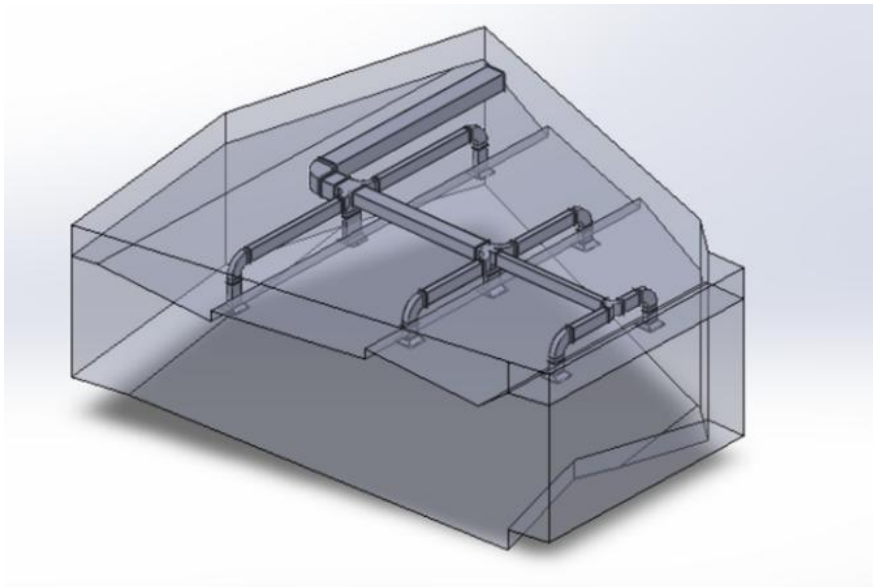
La Figura 24 muestra un detalle del difusor de techo utilizado en el sistema de control climático del Auditorio de Bellas Artes. Este difusor está diseñado para proporcionar una distribución y circulación de aire efectivas para todo el espacio y mantener una temperatura uniforme en todo el auditorio. La construcción del difusor permite un control muy preciso sobre el suministro de aire para que no se formen zonas de alta o baja presión, lo que mejora el confort de los asistentes. Está integrado de manera armoniosa en el techo del auditorio, lo que realza decorativamente el espacio sin comprometer la estética arquitectónica.

Los materiales utilizados, por ejemplo, aluminio anodizado y acero con pintura electrostática, garantizarán la durabilidad de la pieza, así como su resistencia a la corrosión. El diseño permite una distribución uniforme del aire que optimiza el confort térmico en todo el auditorio, al tiempo que mejora la eficiencia del sistema de ventilación. La colocación estratégica de los difusores asegura que se minimicen las zonas muertas y se maximice la distribución del flujo de aire.

Conexión de los tramos secundarios al ducto principal en la configuración tipo espina de pescado.

Figura 25

Ensamblaje del Ducto Principal y Secundarios



Nota. (Construcción propia, 2025)

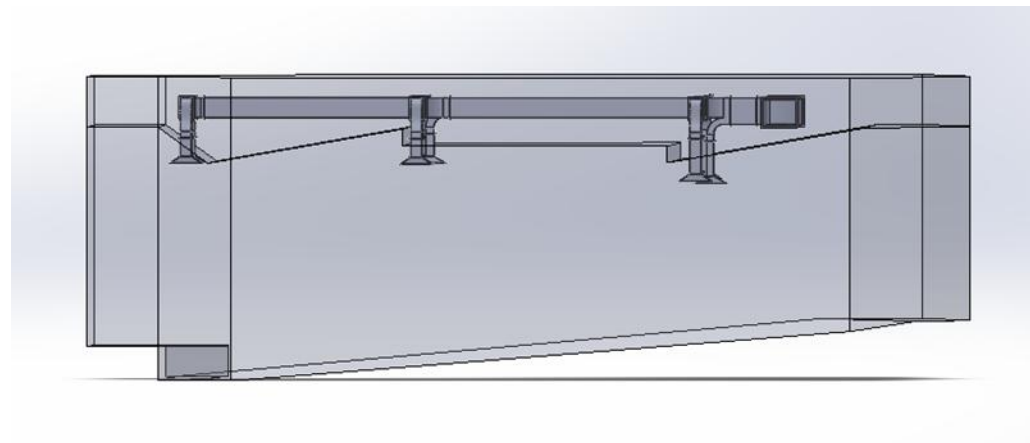
La figura 25 muestra el ensamblaje del conducto principal y sus conductos secundarios, que es una parte integral del sistema de ventilación del Auditorio de Bellas Artes. En esta representación en 3D, se puede ver la interconexión de los conductos primarios y secundarios que aseguran la correcta distribución del aire acondicionado en todo el espacio. El diseño modular y la correcta ubicación de los conductos aseguran la minimización de las pérdidas de presión y la eficiencia de todo el sistema de climatización. Este ensamblaje es crucial para el correcto funcionamiento del sistema de conductos y, al mismo tiempo, optimiza el confort térmico del auditorio.

El patrón de espina de pez es efectivo para equilibrar la distribución equitativa del flujo de aire. Las ramas secundarias están directamente conectadas al ducto principal, proporcionando

un flujo de aire continuo y minimizando obstrucciones. La disposición de estas secciones asegura que no haya cobertura insuficiente en ninguna parte del espacio.

Figura 26

Ensamblaje Detallado del Ducto



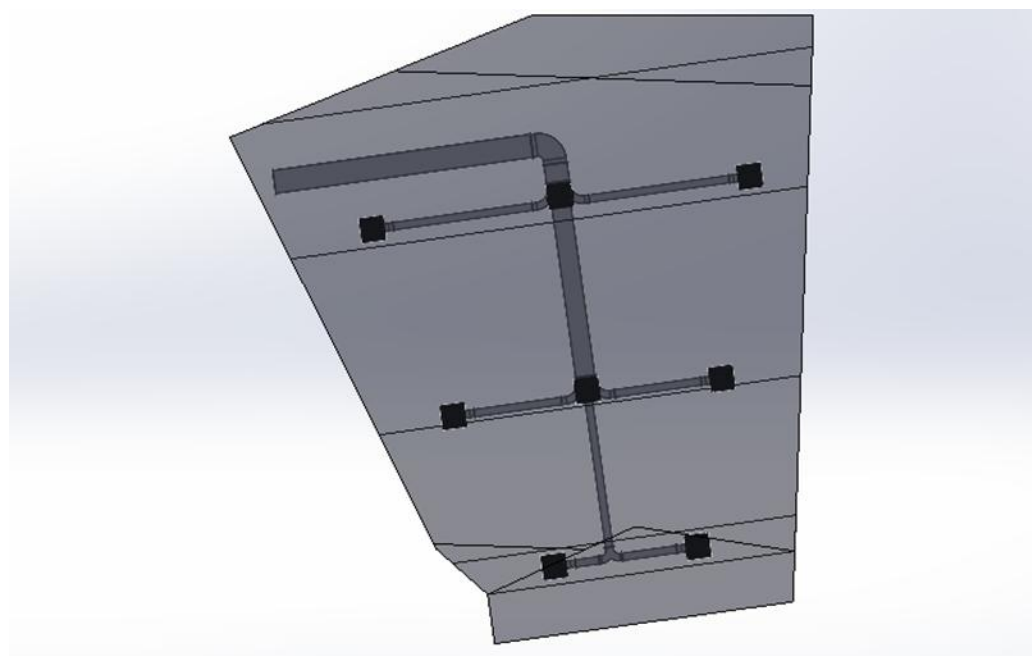
Nota. (Construcción propia, 2025)

La figura 26 muestra el ensamblaje detallado del conducto, que integra el sistema de ventilación del Auditorio de Bellas Artes. En este modelo 3D, se puede ver cómo están interrelacionados los componentes del conducto, incluyendo las uniones entre el conducto principal y las ramas secundarias, así como los soportes y conexiones adicionales que garantizan la estabilidad y funcionalidad del sistema. Este ensamblaje detallado ayuda a asegurar que el flujo de aire sea constante sin pérdida de presión y que la distribución del aire sea eficiente en todo el auditorio.

Los conductos han sido modelados de acuerdo con el diseño preliminar, manteniendo las proporciones y alturas reales del auditorio. Este tipo de modelado de ensamblaje 3D garantiza que no habrá conflictos arquitectónicos como columnas o paredes que interfieran, y asegura que el sistema se pueda instalar de manera conveniente durante la fase de construcción.

Figura 27

Ajuste Final del Ensamblaje del Sistema de Ductos



Nota. (Construcción propia, 2025)

La Figura 27 ilustra los ajustes finales para el ensamblaje del sistema de conductos en el Auditorio de Bellas Artes. Con este modelo en 3D, es posible visualizar el ensamblaje de los conductos, codos y ramas junto con otros componentes del sistema para asegurar una calibración adecuada del flujo de aire. Este ajuste final no solo previene fugas de aire, sino que también garantiza que los conductos y juntas, así como el sistema de conductos, estén sellados y funcionando correctamente. Este modelo también demuestra cómo el ensamblaje de los espaciadores, en conjunto con los componentes estructurales dispuestos de manera ordenada, proporciona estabilidad y funcionalidad a largo plazo al sistema de conductos.

En la optimización de precisión, el flujo de aire debe mantenerse libre de cualquier tipo de obstrucción y cambios de dirección, de lo contrario, generaría caídas de presión y, como

resultado, la eficiencia del sistema se vería comprometida. Durante la modelación tridimensional, la verificación de estos ajustes es crucial para el sistema en el auditorio.

Mediante el análisis exhaustivo, se han comprendido los aspectos técnicos y ventajas de los componentes del sistema de climatización del Auditorio de Bellas Artes. Cada figura ha sido estudiada desde su funcionalismo para garantizar que el sistema de distribución de aire opere dentro de los niveles de confort y eficiencia energética.

Sistema B: Integración del sistema con fancoils en el modelado tridimensional

Durante la fase de desarrollo del proyecto, exploramos la opción de integrar un sistema de calefacción y refrigeración basado en fancoils ubicados en puntos estratégicos dentro del auditorio. Este enfoque tiene como objetivo mejorar la eficiencia térmica del espacio, permitiendo una calefacción y refrigeración controladas, basadas en necesidades y zonificadas en el auditorio. A continuación, se describen las actividades realizadas durante esta fase del proyecto, todas las cuales fueron respaldadas por modelado 3D:

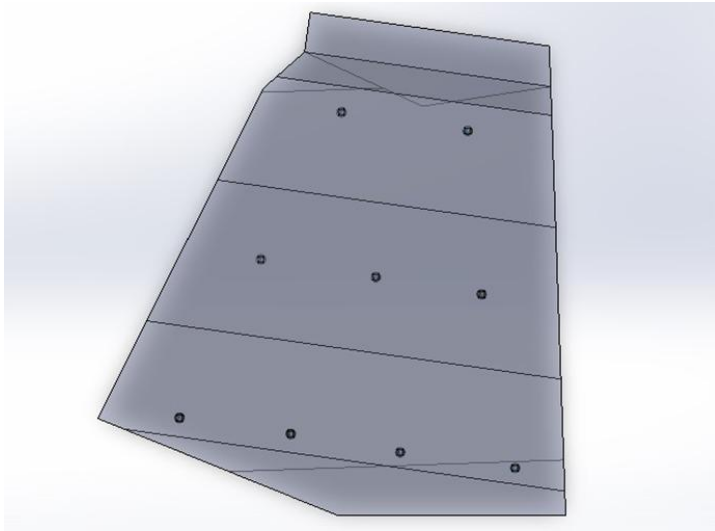
Ubicaciones precisas de fancoils: Basado en la geometría del auditorio definida en el plano de planta 2D, cada unidad de fancoil se colocó con precisión dentro de un modelo 3D. Esto fue útil para verificar si su colocación maximiza la cobertura de flujo y si cumple con los requisitos del proyecto.

Verificación del Control Dimensional de la Interacción del Espacio Físico: En el modelo 3D, se tuvo en cuenta el espacio disponible con el techo suspendido, las estructuras de soporte y la accesibilidad para el mantenimiento. Esto aseguró la integración de las unidades fancoils con otros elementos arquitectónicos del auditorio, al tiempo que proporcionó acceso sin obstrucciones para el mantenimiento o trabajo de reparación futuros.

El diseño de la red de tuberías que conecta cada fancoils con el chiller principal es más sencillo. Este modelado permitió determinar los trayectos en los que las tuberías se colocarán y que reducirán las cargas hidráulicas y, por lo tanto, disminuirán costos de instalación. Se obtuvo también un ahorro energético y una mejora en la facilidad de instalación del sistema al minimizar la distancia y eliminar codos innecesarios.

Evaluación de la Distribución del Aire: En esta etapa, se realizó una evaluación completa del flujo de aire para cada unidad con el fin de garantizar que la cobertura de aire dentro del auditorio fuera uniforme. La modelización tridimensional identificó posibles interferencias con elementos arquitectónicos como columnas y paredes, asegurando que no se producirían áreas con deficiencia de aire o puntos de calor dentro del espacio.

La integración del sistema de climatización mediante fancoils, apoyada en el modelado tridimensional, asegura no solo una mejora de energía, operativa y térmica, sino también, con mayor flexibilidad y eficiencia. El control zonificado para la climatización asegura que el auditorio se adapte a diferentes niveles de ocupación, de este modo, se optimiza tanto el consumo de energía como el confort térmico. Este enfoque de modelado ha sido decisivo para la planificación y ejecución del sistema de climatización del Auditorio de Bellas Artes.

Figura 28*Integración de los fancoils en el sistema de climatización*

Nota. Construcción propia, 2025.

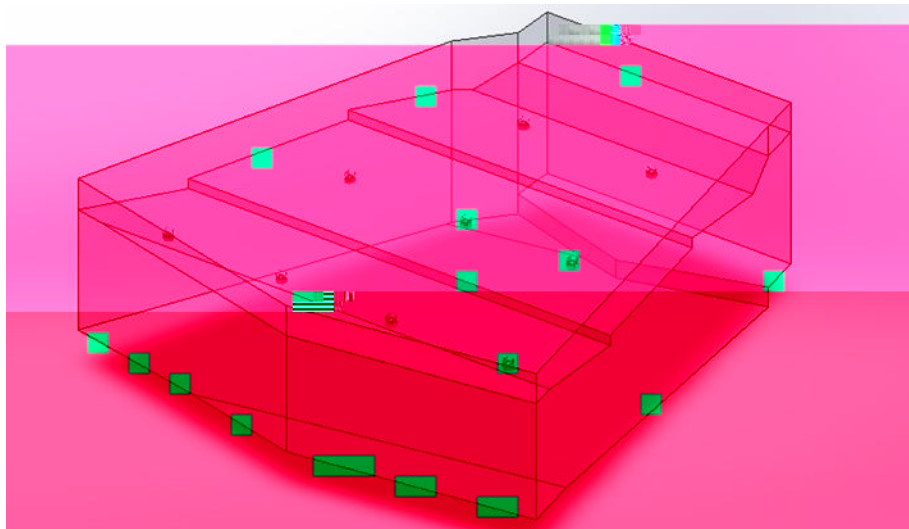
La figura 28 muestra la integración de los fancoils dentro del sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) del Auditorio de Bellas Artes. En este modelo 3D, se aprecian las ubicaciones de los fancoils y también su conexión al sistema de conductos para la distribución del aire acondicionado en todo el auditorio. Su correcta integración asegura el control de la temperatura en las diferentes zonas del auditorio para mejorar el confort de los asistentes y mantener la temperatura en el auditorio lo más homogénea posible. Este diseño ayuda a maximizar la eficiencia energética del sistema HVAC y la efectividad general del sistema de aire acondicionado para el auditorio.

El modelo con los fancoils distribuidos en el auditorio muestra su integración al sistema de climatización con control zonificado y uso eficiente de la energía. Cada fancoils fue modelado en el espacio para chequear su posición, así como su relación con el sistema de ductos. Este

enfoque modular permite adaptar la climatización al flujo real de ocupantes del auditorio, optimizando el consumo cuando este no está completamente lleno.

Figura 29

Posicionamiento de los fancoils y conexión con el sistema de tuberías



Nota. (Construcción propia, 2025)

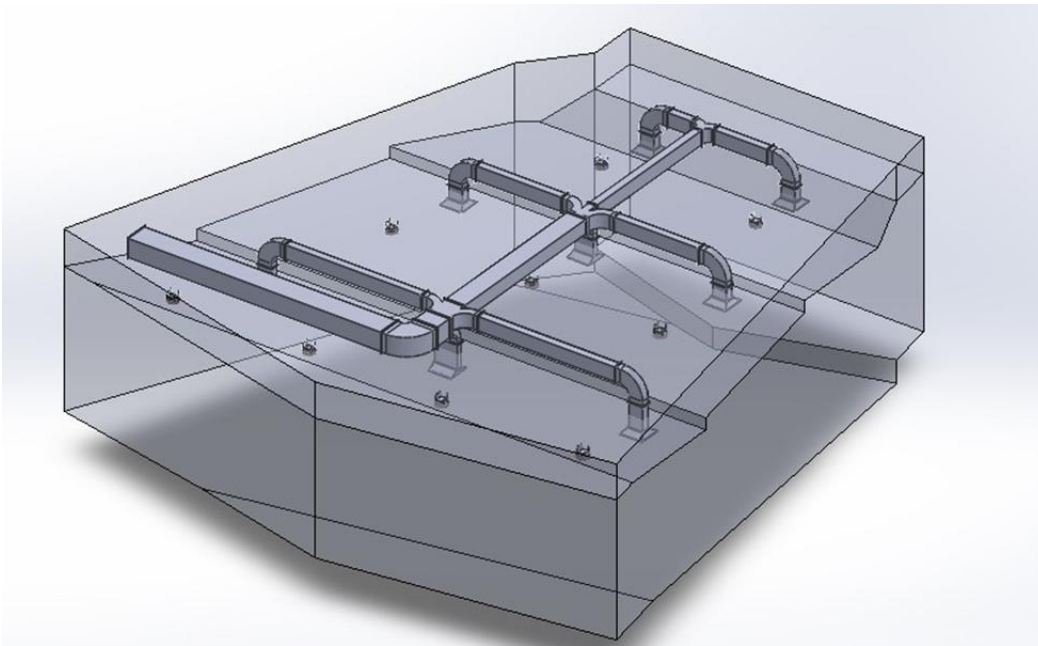
La Figura 29 muestra la ubicación de los fancoils dentro del Auditorio de Bellas Artes, incluyendo su conexión a las tuberías de refrigerante. En este modelo 3D, los fancoils están ubicados en lugares críticos dentro del auditorio, lo que permite una distribución óptima del flujo de aire. Además, el modelo muestra las conexiones de los coils ventriculares con las tuberías que transportan refrigerante, asegurando así un flujo suficiente para mantener una temperatura óptima en todo el espacio. Este tipo de integración de diseño es importante para la eficiencia energética y la comodidad de los usuarios dentro del auditorio.

Esta integración es esencial porque permite el funcionamiento eficiente del sistema al modular cada unidad a los requisitos de calefacción específicos del auditorio. El modelo describe

en detalle la disposición y esboza el posible enrutamiento para optimizar los procesos de mantenimiento e instalación.

Figura 30

Ensamblaje completo del sistema de ventilación con fancoils



Nota. (Construcción propia, 2025)

La figura 30 muestra los fancoils junto con los conductos, las conexiones necesarias y los componentes auxiliares que componen el sistema de ventilación del Auditorio de Bellas Artes. En este modelo 3D, es posible examinar toda la arquitectura de los conductos, así como la distribución de los fancoils a la red de conductos y tuberías, lo que garantiza una distribución eficiente del aire en todo el espacio del auditorio. El diseño completo asegura que todo el sistema de ventilación del auditorio funcione con precisión, proporcionando un confort óptimo a los usuarios y manteniendo la eficiencia energética en todo el sistema de ventilación.

El modelo tridimensional confirma que todos los componentes del sistema son espacialmente compatibles y que las dimensiones del sistema, incluida la altura, son precisas con

respecto a las medidas reales del auditorio. Esta visualización ayuda no solo en la verificación del diseño, sino también en la simulación del flujo de aire y el análisis térmico, permitiendo realizar modificaciones antes de la ejecución final del proyecto.

Estos análisis y descripciones permiten una comprensión precisa del diseño e implementación del sistema de climatización para el Auditorio de Bellas Artes, garantizando que todas las fases del proyecto se lleven a cabo sin contratiempos y sin interrupciones.

Hacer un modelo tridimensional en SolidWorks, es una de las etapas más importantes para el diseño y desarrollo del sistema de distribución de aire para el Auditorio de Bellas Artes. Ese modelo permite plasmar el diseño preliminar del sistema de ductos y a la vez comprobar físicamente las medidas y la colocación de los componentes del sistema, verificando así que es posible construirlo y que va a funcionar correctamente. Con este método se logró una representación adecuada del auditorio y la inclusión de los aparatos de precisión que lo cruzan.

Base del modelado y adecuación espacial

El modelado 3D se inicia con la incorporación de las medidas precisas del auditorio que se definió en un plano 2D. Este paso es clave, porque permite contar con un espacio de trabajo virtual en el que se estructura un sistema de ensamble circunscrito al auditorio. De esta manera, se puede hacer una colocación exacta de los componentes del sistema de aire, los ductos principales y secundarios, además de los difusores de techo. Este proceso garantiza que el diseño tridimensional sea viable constructivamente y no existan interferencias con los elementos arquitectónicos como columnas o muros, lo cual es fundamental para una correcta instalación in situ.

Validación de la distribución de aire

La modelización ayuda a evaluar la asignación del flujo de aire, que es crucial para la eficacia del sistema de aire acondicionado. La implementación del patrón de "espina de pescado" de los conductos se confirmó en 3D ya que proporciona una distribución de aire equilibrada en todo el auditorio. Este tipo de distribución reduce la ocurrencia de estancamiento y espacios sin acondicionar, proporcionando así confort térmico a todos los usuarios del auditorio. Además, la validación de la forma y la ubicación de las partes revela intersecciones con otros elementos arquitectónicos, lo que permite evitar dificultades durante la construcción del edificio.

Elección de materiales para los ductos

La elección de materiales es otra preocupación crítica en el diseño del sistema de distribución de aire. En este caso, optamos por chapa metálica galvanizada de alta resistencia debido a su durabilidad y resistencia a la corrosión para instalaciones interiores. Además, este material facilita la fabricación y ensamblaje de ductos, particularmente en los segmentos rectangulares donde se utilizan uniones acanaladas y Pittsburgh. También, la contribución de la compatibilidad de la chapa galvanizada con aislantes térmicos y acústicos a la eficiencia general del sistema al minimizar las pérdidas de calor y controlar el ruido es sustancial.

Integración de fan coils para control climático zonificado

El sistema de fan coils distribuidos se integra como un auxiliar al sistema de conductos principal, lo que permite un control zonificado sobre la regulación climática. Para representar la ubicación exacta de cada fancoils dentro del auditorio, esta integración híbrida se modeló en 3D. El modelo 3D no solo sirve para visualizar el sistema, sino también para comprobar el funcionamiento del sistema en relación con el espacio físico y factores críticos como la altura

disponible en el falso techo, la colocación de elementos de la estructura de soporte y la accesibilidad para mantenimiento.

Modelar el sistema en 3D permitió diseñar la tubería que conecta los fancoils con el enfriador principal. La optimización de estos diseños fue crítica para minimizar tanto las pérdidas de presión como los costos de instalación. Además, la incorporación de fan coils proporciona un aumento significativo en la eficiencia energética porque permite que la capacidad total del sistema se module según la demanda real de control climático, logrando así un consumo energético más eficiente.

Simulaciones y validación de los análisis térmicos

El modelo tridimensional se puede utilizar no solo para la construcción del sistema, sino también para etapas posteriores como la simulación de flujo de aire y el análisis térmico. Este diseño permite implementar cambios en la estructura o en el sistema de climatización si hay variaciones en la ocupación o en los parámetros operativos del auditorio. Esta versatilidad junto con la posibilidad de realizar simulaciones previas brinda una gran confianza para la ejecución del proyecto en campo, donde se estima que el sistema funcionará de manera óptima respecto a los requerimientos técnicos de caudal, distribución espacial y confort térmico.

Por consiguiente, el modelado tridimensional del sistema de distribución de aire para El Auditorio de Bellas Artes es una etapa decisiva dentro del diseño y el desarrollo de un sistema de climatización que sea óptimo, eficiente y funcional. Este procedimiento el sistema puede ser visualizado y su validación puede ser corroborada mediante simulaciones y ajustes pertinentes con la finalidad de que se garantice la factibilidad tanto técnica como constructiva del diseño. La incorporación de sistemas de fancoils para climatización zonificada incrementa la flexibilidad operacional del sistema; a su vez, la elección de material apropiado asegura su durabilidad y

eficiencia. Con la validación, este diseño se asegura que el sistema de climatización del auditorio cumpla los requisitos de confort térmico y el consumo energético.

Tiempo y costo estimado del proyecto de Bellas Artes

El cronograma de trabajo propuesto para la instalación del sistema de aire acondicionado y ventilación en el Auditorio de Bellas Artes tiene como objetivo garantizar que todas las actividades se realicen de manera sistemática y sean lo más eficientes posible. El tiempo total estimado para la finalización de este proyecto es de entre seis a siete semanas, considerando la disponibilidad de equipos, las condiciones climáticas y la sinergia de programación entre los contratistas, proveedores y el equipo de instalación.

Tabla 20

Cronograma de Instalación

Fase de trabajo	Descripción	Tiempo estimado
Preparación y logística	Recepción de equipos, insumos, habilitación de zonas de trabajo, permisos	1 semana
Adecuación de soporte y estructura	Refuerzos para soportes, apertura de pasos para tuberías y ductos	1 semana
Instalación del chiller y conexiones principales	Montaje del chiller Schneider ERCC1221A, pruebas hidráulicas preliminares	1 semana
Instalación de la red hidráulica y conexiones de fancoils	Colocación de tuberías, aislamiento térmico, válvulas de corte, soportes	1.5 semanas
Montaje de los 9 fancoils tipo cassette	Ubicación, fijación, conexión eléctrica y de tuberías	1 semana
Instalación de ductos y difusores	Armado de tramos tipo espina de pescado, colocación de rejillas y difusores	1 semana
Pruebas, balanceo y puesta en marcha	Pruebas de presión, caudal, ajuste de válvulas, calibración de controles	0.5 semanas

Nota. (Construcción propia, 2025)

La Tabla 20 proporciona el cronograma para la implementación del sistema de control climático en el Auditorio de Bellas Artes. Incluye la etapa de las obras, las actividades que se deben completar y la estimación de tiempo para cada una de ellas. La planificación tiene como objetivo asegurar que cada paso en el proceso, desde la preparación logística hasta la prueba del sistema, se ejecute dentro del plazo designado, se realice de manera competente y se complete en la secuencia prevista. Una planificación efectiva de las fases contribuye a la correcta instalación del sistema de control climático al reducir el potencial de retraso y hacer un uso eficiente de los recursos disponibles.

Cada etapa tiene una asignación de tiempo bien definida y está equilibrada entre los diferentes aspectos del proyecto. El plan considera las etapas esenciales, comenzando desde la logística preliminar hasta las fases finales de prueba, prestando especial atención a hitos críticos como la instalación del enfriador, los fancoils y la red hidráulica. La duración asignada para las pruebas y el balance es relativamente corta, lo cual es adecuado en este caso. Dado que el trabajo principal involucra la instalación de equipos, proporcionar tiempo adecuado para un funcionamiento sin problemas es beneficioso.

En este fragmento, el enfoque está en realizar tareas en paralelo, por ejemplo, montando los fancoils mientras se instalan los conductos, ya que esto puede reducir el plazo general del proyecto. También es muy importante asegurar tiempo suficiente para la inspección de la recalibración del sistema y los ajustes relevantes del sistema que son cruciales para validar que el sistema opera con precisión.

Estimación de Costos

La estimación del proyecto es crucial para su viabilidad financiera. Se ha proporcionado un desglose detallado de los conceptos de inversión, teniendo en cuenta todos los costos

asociados con la instalación y puesta en marcha del sistema de climatización y ventilación. El costo total estimado es de 419,000,000 COP, que abarca los costos de equipos, mano de obra especializada y la provisión de materiales.

Tabla 21

Estimación de Costos

Concepto	Descripción	Costo estimado (COP)
Chiller central	Schneider Electric ERCC1221A (160 kW) + puesta en marcha	180,000,000
Fancoils tipo cassette	9 unidades marca Excell, instalación, soportes	90,000,000
Red de tuberías hidráulicas	Suministro de tuberías, accesorios, aislamiento	40,000,000
Sistema de ductos y difusores	Fabricación y montaje tipo espina de pescado	35,000,000
Ventilador principal	SODECA PF/EC-1663-4T-5.5-IE5, con instalación	20,000,000
Mano de obra especializada	Instalación mecánica, soldadura, montaje	20,000,000
Instrumentación y automatización	Termostatos, controles de zona, balanceo	10,000,000
Inspección, pruebas y puesta en servicio	Balances, pruebas de estanqueidad y caudal	5,000,000
Subtotal estimado		400,000,000
Contingencias (5%)	Reserva para ajustes y eventualidades	19,000,000 COP
Costo total estimado		419,000,000

Nota. (Construcción propia, 2025)

La Tabla 21 presenta un desglose estimado de los costos asociados con la instalación del sistema de aire acondicionado en el Auditorio de Bellas Artes. Esta tabla ofrece un relato detallado de los diferentes componentes de costo asociados con el proyecto, como el chiller

central, los fancoils tipo cassette, la red de tuberías hidráulicas, el sistema de ductos y difusores, entre otros. Además, se incluyen los costos de mano de obra calificada, así como el trabajo especializado para instrumentación, automatización, inspección y puesta en marcha. El costo estimado de la instalación del sistema de aire acondicionado es de cuatrocientos diecinueve millones de pesos colombianos (COP 419,000,000), incluyendo una reserva de contingencia del 5% para ajustes y eventualidades imprevistas.

El costo total estimado se distribuye equitativamente entre los componentes principales, que incluyen el enfriador y sus respectivas unidades de fan coils y ventiladores, así como las actividades relacionadas de mano de obra, pruebas y puesta en marcha. El enfriador, siendo el ítem más costoso, es justificable ya que es el componente clave del sistema. Sin embargo, la correcta asignación de fondos considerando materiales como tuberías hidráulicas, conductos y difusores, así como las unidades de fan coils, muestra un plan integral que garantiza que todos los componentes del sistema tengan financiación adecuada.

Se incluye un 5% de contingencia, que es justo lo necesario para abordar cualquier cambio técnico específico del proyecto o desarrollos inesperados durante la fase de ejecución. Este análisis demuestra la necesidad de una estimación precisa, ya que el gasto real puede diferir debido a negociaciones con proveedores, costos de materiales y circunstancias imprevistas.

La planificación e implementación de los sistemas de ventilación y aire acondicionado para el Auditorio de Bellas Artes parece ser un proyecto bien equilibrado en cuanto a tiempo e inversión. El modelo tridimensional ha confirmado la viabilidad espacial del diseño, lo cual es útil para identificar posibles conflictos durante las primeras etapas. La estimación de costos proporciona una línea base confiable y completa que es lo suficientemente segura como para garantizar una ejecución realista, lo que a su vez permite que el tasador tenga confianza en la

ejecución del proyecto. A lo largo del proyecto, se debe monitorear el cronograma y los costos, y algunas fases deben completarse para aumentar la efectividad y ayudar a cumplir con los plazos del proyecto.

Capítulo 5. Conclusiones

La investigación hecha permitió identificar las condiciones ambientales que son óptimas para el auditorio, concluyendo que temperatura, humedad, e inclusive la velocidad del aire, son componentes que influyen tanto en el bienestar del usuario como en la calidad del aire del recinto. Con el uso de sistemas de evaluación apropiados, se ha corroborado que el control sobre estas variables permite, sin lugar a dudas, contar con un entorno cómodo y saludable. Con las evidencias que se han analizado en este trabajo, se puede afirmar que el sistema diseñado hace posible el cumplimiento de los requerimientos de confort térmico y los parámetros de calidad del aire, los cuales son indispensables en un auditorio con gran afluencia como el de Bellas Artes.

Los análisis realizados para establecer las capacidades de ventilación y los requisitos de energía fueron fundamentales para construir un sistema de control climático preciso, eficiente y sostenible. El diseño del sistema se ha orientado a satisfacer no solo los requisitos térmicos del auditorio, sino que también se preocupa por el mínimo impacto ambiental, costos operativos, logrando todo esto con una estimación precisa de los flujos de aire, la carga térmica y el consumo de energía. Se demostró que el sistema de circulación de aire propuesto mejora considerablemente el consumo de energía y la eficiencia en comparación con los sistemas tradicionales de control climático.

Como parte del desarrollo del diseño para el sistema de flujo de aire del Auditorio de Bellas Artes, se realizaron cálculos fundamentales que, junto con los límites prescritos de confort, calidad del aire y eficiencia energética, optimizaron el rendimiento del sistema. El análisis de ingeniería muestra que la tasa de flujo de aire requerida para la ventilación del auditorio es de 17,179.4 m³/h. Esta cantidad permitirá el intercambio de aire deseado mientras se mantiene un ambiente saludable y cómodo en el espacio. Para lograr esto, el flujo de aire por

difusor se establece en 2,147.43 m³/h, lo que asegura que el aire se distribuya de manera uniforme y adecuada por todo el espacio.

Con referencia a la dimensión del conducto principal, se estimó que el área de la sección transversal óptima es de 0.795 m², lo que se ha conseguido con la elección de un conducto estándar de 0.8 m × 1.0 m. Esta selección mejora el equilibrio del sistema, reduciendo la caída de presión y el consumo de energía, lo que además de aumentar la sostenibilidad del sistema, mejora su eficiencia. El valor de 75.38 Pa de las pérdidas de presión totales del sistema de ductos se estima como un valor óptimo, manteniendo efectividad sin comprometer la eficiencia energética del sistema.

El auditorio presenta una carga térmica total que se estima en 153.68 kW. Este resultado se obtuvo considerando la ocupación del espacio, la iluminación en uso, así como la ganancia térmica que se produce por el uso de equipos. Este gasto térmico fue determinante en la selección de la climatización del espacio, por ejemplo, los ventiladores SODECA PF/EC-1663-4T-5.5-IE5, que ofrecen un caudal de 17,179.4 m³/h, además de cumplir con los requerimientos de energía, poseen un ahorro de 35% en energía en comparación al sistema anterior. En resumen, los resultados técnicos alcanzados durante este proyecto indican que el sistema de circulación de aire propuesto no solo mejora la calidad y el confort térmico, acumula energía y mejora la eficiencia operacional, consiguiendo un sistema de balance energético sostenible y económicamente viable a largo plazo.

La configuración tipo espina de pescado para el sistema de ductos aseguró un correcto balanceo del flujo del aire en todo el auditorio, eliminando zonas muertas y proporcionando aire constante por encima de los ocupantes. Además de facilitar la calidad de aire y confort térmico, este diseño ayuda a la eficiencia energética al reducir las pérdidas de presión en el sistema. La

disposición adecuada de los fancoils aumenta la flexibilidad operativa del sistema, al ser estos colocados en zonas clave.

El sistema de diseño de climatización para el Auditorio de Bellas Artes en Ocaña, Norte de Santander, sintetiza tanto consideraciones técnicas como operativas para crear un modelo receptivo y adaptable. El uso de SolidWorks para crear un modelo 3D ayudó a confirmar los arreglos espaciales y la viabilidad de la construcción, lo que contribuye a la robustez del diseño y a la facilidad de implementación. Los cálculos térmicos y energéticos asignados proporcionaron confianza en la selección de equipos, así como en la distribución del aire, asegurando que se cumplan los estándares de confort y que el sistema propuesto sea sostenible y eficiente en el tiempo.

La disposición adecuada de los conductos de aire combinados optimiza aún más la ventilación y el confort térmico del espacio del auditorio. Los fancoils estratégicamente ubicados garantizan un control climático preciso y una alta eficiencia energética debido al sistema de conductos diseñado de manera óptima. Tal adaptabilidad mantiene el potencial de acomodar diferentes niveles de ocupación y uso del auditorio.

Como se ha elaborado, el diseño integrado y completo de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado para el Auditorio de Bellas Artes garantiza que los sistemas funcionen, como se diseñó, con alta eficiencia, sostenibilidad y una baja carga de mantenimiento, alinear perfectamente con los requisitos prospectivos y dinámicos del espacio.

Capítulo 6. Recomendaciones

Intentar establecer un sistema donde los parámetros de temperatura, humedad y flujo de aire puedan ser monitoreados en tiempo real dentro del auditorio, ya que esto permitirá que los cambios en las condiciones ambientales se realicen automáticamente de acuerdo con el uso del auditorio y las actividades en curso, ahorrando así energía y proporcionando comodidad a los usuarios en todo momento.

En cuanto al personal de mantenimiento, es importante ofrecerles cursos de actualización sobre el funcionamiento del nuevo sistema de aire acondicionado, especialmente sobre fancoils, el control de la red de tuberías de agua fría y el control del flujo de aire. Observar y aplicar estrategias de mantenimiento apropiadas junto con estrategias preventivas resultará en un rendimiento duradero del sistema con costos operativos y de mantenimiento minimizados; el rendimiento sostenido en el tiempo reducirá el riesgo de fallos del sistema y costos no planificados.

Aunque el sistema tal como está diseñado es eficiente en energía, se recomienda realizar revisiones periódicas del desempeño del sistema para identificar oportunidades de mejora. Estas incluyen evaluar el rendimiento y la eficiencia de los chillers y fancoils, examinar las pérdidas de carga y revisar los conductos en busca de posibles obstrucciones o deterioro. Tomar estas acciones garantizará que el sistema continúe operando dentro de las condiciones de frontera de eficiencia operacional.

El sistema de conductos y fancoils diseñado es flexible y puede adaptarse a cualquier cambio futuro en el uso del auditorio. Se recomienda planificar con anticipación cualquier cambio posible en los niveles de ocupación o en las modificaciones de la estructura interna del

auditorio, con el fin de ajustar el sistema de aire acondicionado a los requisitos revisados sin comprometer su rendimiento y eficiencia energética.

Se sugiere estudiar la adición de termostatos inteligentes y sensores de ocupación como formas de energía optimizada o dispositivos que mejoren la experiencia del usuario, controladores de consumo de energía para el sistema de climatización. Estas tecnologías son capaces de ahorrar energía adicional al ajustar automáticamente la temperatura y la ventilación basándose en la ocupación y en las condiciones ambientales.

Referencias

- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. (2022). *Calidad del aire interior*.
<https://espanol.epa.gov/cai>
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2022).
ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2022: Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality.
<https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standards-62-1-62-2>
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2009). *Standards and Guidelines*. <https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines>
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). (2021).
ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
<https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines>
- Arens, E., Turner, S., Zhang, H., & Paliaga, G. (2015). *Ventilation and thermal comfort: A study of indoor environmental quality and energy efficiency in buildings*. *Building and Environment*, 87, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.03.026>
- ASHRAE. (2009). *ASHRAE Handbook—Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. <https://www.ashrae.org/technical-resources/ashrae-handbook>
- ASHRAE. (2020). *ASHRAE handbook: HVAC systems and equipment*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- ASHRAE. (2021). *ASHRAE Handbook—HVAC Systems and Equipment*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

- ASHRAE. (2021). *ASHRAE Standard 62.1 & 55: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality and Thermal Comfort*. <https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines>
- Awbi, H. B. (2017). *Ventilation for good indoor air quality and energy efficiency*. *Energy Procedia*, 112, 277-286. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1098>
- Barco, D. (2016). *Evolución de la ventilación*. <https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/la-ventilacion-tras-la-implantacion-la-metodologia-bim/>
- Carrier, W. H. (2020). *Principles of Heating, Ventilating, and Air Conditioning*. McGraw-Hill Education.
- Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2019). *Thermodynamics: An Engineering Approach* (9.a ed.). McGraw-Hill Education. <https://www.mheducation.com/highered/product/thermodynamics-engineering-approach-cengel-boles/M9781259822674.html>
- Congreso de la República de Colombia. (1979). *Ley 9 de 1979* (Código Sanitario Nacional). <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4128>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2017). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. Sage publications.
- EN 16798-1 (2019). *Energy Performance of Buildings - Indoor Environmental Input Parameters*. European Committee for Standardization (CEN).
- Environmental Protection Agency (EPA). (2020). *Indoor Air Quality (IAQ) and Indoor Air Pollution*. <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq>
- Environmental Protection Agency. (2022). *Indoor Air Quality (IAQ)*. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq>

Estándar Ashrae Estándar Ashrae (2009). *Ventilacion para una Calidad Aceptable de Aire Interior*. www.ashrae.org

Fanger, P. O. (1970). *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering*. Danish Technical Press.
https://books.google.com/books/about/Thermal_comfort.html?id=S0FSAAAAMAAJ

Fanger, P. O. (1973). *Assessment of man's thermal comfort in practice*. British Journal of Industrial Medicine, 30(4), 313–324. <https://doi.org/10.1136/oem.30.4.313>

Field, A. (2018). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*. Sage publications.

Fisair. (2021.). *Deshumidificación industrial: control de la humedad en procesos industriales*.
<https://www.fisair.com/productos/deshumidificacion-industrial>

Fisair. (2021.). *DF Air Dehumidifiers*. <https://fisair.com/products/df-air-dehumidifiers/>

Fisk, W. J., & Rosenfeld, A. H. (1997). *Estimates of improved productivity and health from better indoor environments*. Indoor Air, 7(3), 158-172.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1600-0668.1997.t01-1-00002>.

Gómez, J., & Torres, L. (2022). *Evaluación de la calidad del aire en espacios cerrados: Implicaciones en la salud y el confort ambiental*. *Revista de Ingeniería y Medio Ambiente*, 45(2), 112-130.
https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/19145/2023_Tesis_Wilfred_Gomez.pdf?sequence=5

Google Maps. (s.f). Retrieved February 25, 2025, from
[https://www.google.com/maps/place/8%C2%B014'15.7%22N+73%C2%B021'21.6%22W/@8.237185,-73.3588646,17z/data=!4m4!3m3!8m2!3d8.2376944!4d-](https://www.google.com/maps/place/8%C2%B014'15.7%22N+73%C2%B021'21.6%22W/@8.237185,-73.3588646,17z/data=!4m4!3m3!8m2!3d8.2376944!4d-73.356?hl=es&entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MDIyNC4wIKXMDSOASAFQAw%3D%D)
[73.356?hl=es&entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MDIyNC4wIKXMDSOASAFQAw%3D%D](https://www.google.com/maps/place/8%C2%B014'15.7%22N+73%C2%B021'21.6%22W/@8.237185,-73.3588646,17z/data=!4m4!3m3!8m2!3d8.2376944!4d-73.356?hl=es&entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MDIyNC4wIKXMDSOASAFQAw%3D%D)

- Hernández Cruz, M. (2016). *Estrategias de sostenibilidad ambiental en edificaciones*. Revista de Arquitectura, 18(1), 45-53. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2016.18.1.5>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la Investigación: Las Rutas Cuantitativa, Cualitativa y Mixta*. McGraw-Hill Education.
- ICONTEC. (2003). NTC 5183: *Ventilación para una calidad aceptable del aire en espacios interiores*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. <https://edoc.site/ntc-5183-pdf-free.html>
- ICONTEC. (2019). *Norma Técnica Colombiana NTC 5316*. <https://www.icontec.org>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2017). NTC 5316: *Calidad del aire interior en edificaciones*.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2003). NTC 5183: *Ventilación para una calidad aceptable del aire en espacios interiores*. <https://tienda.icontec.org/gp-ventilacion-para-una-calidad-aceptable-del-aire-en-espacios-interiores-ntc51832003.html>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2022). *Condiciones climáticas en Norte de Santander: Análisis y pronósticos*. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/informes-meteorologicos>
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (2023). *Sistemas de ventilación mecánica: guía técnica*. Ministerio de Trabajo y Economía Social de España. <https://www.insst.es/documentacion/catalogo-de-publicaciones/sistemas-de-ventilacion-mecanica-guia-tecnica>

- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2022). *Calidad del Ambiente Interior en el trabajo - Año 2022*. <https://www.insst.es/noticias-insst/calidad-del-ambiente-interior-el-trabajo> - Año 2022.
- Instituto para la Salud Geoambiental. (2020). Inicio. <https://www.saludgeoambiental.org/>
- International Organization for Standardization (ISO). (2005). *ISO 7730: Ergonomics of the thermal environment—Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. <https://www.iso.org/standard/39155.html>
- International Organization for Standardization (ISO). (2021). *ISO 14001: Environmental Management Systems*. <https://www.iso.org/iso-14001-environmental-management.html>
- International Organization for Standardization (ISO). (2021). *ISO 3744: Acoustics – Determination of Sound Power Levels*. <https://www.iso.org/standard/38014.html>
- Kerzner, H. (2017). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*. John Wiley & Sons.
- Mendell, M. J., & Kumagai, K. (2017). *Observation-based metrics for residential dampness and mold with dose-response relationships to health: A review*. *Indoor Air*, 27(3), 506-517. <https://doi.org/10.1111/ina.12342>
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative Data Analysis: A Methods Sourcebook*. Sage publications.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017). <https://www.minambiente.gov.co>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, & Hernández Cruz, M. (2016). *Estrategias de sostenibilidad ambiental en edificaciones*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/456-plantilla->

estrategia-nacional-de-economia-circular/1540-estrategias-de-sostenibilidad-ambiental-en-edificaciones

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Resolución 2254 de 2017*.
<https://www.minambiente.gov.co>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). *Estrategias para la reducción del consumo energético en edificaciones públicas de Colombia*. Bogotá.
https://www.minambiente.gov.co/images/energia_sostenible.pdf

Ministerio de Cultura. (2021). *Infraestructura cultural en Colombia: Diagnóstico y necesidades*. Bogotá. <https://www.mincultura.gov.co/documentos/infraestructura-cultural.pdf>

Ministerio de Educación Nacional. (2018). NTC 4595: *Diseño de instalaciones y ambientes escolares*. https://www.mineduacion.gov.co/1759/articles-355996_recurso_10.pdf

Ministerio de Minas y Energía. (2020). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE)*.
<https://www.minenergia.gov.co>

Ministerio de Salud y Protección Social. (2020). *¿Por qué se deben mantener ventilados los espacios interiores?* <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Por-que-se-deben-mantener-ventilados-los-espacios-interiores.aspx>

Ministerio de Salud y Protección Social. (2021). *Resolución 1627 de 2021*.
<https://www.minsalud.gov.co>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2022). *Resolución 0019 de 2022: Parámetros y lineamientos de construcción sostenible para edificaciones nuevas*.
<https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/resolucion-0019-de-2022-mvct.pdf>

- Ministerio de Vivienda. (2022). *Código de Construcción Sostenible de Colombia*.
<https://www.minvivienda.gov.co>
- Morawska, L., Tang, J. W., Bahnfleth, W., Bluyssen, P. M., Boerstra, A., Buonanno, G., ... & Yao, M. (2021). *How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimised?* *Environment International*, 142, 105832. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105832>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2021). *Calidad del aire interior*.
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-air-quality-and-health>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2021). *Recomendaciones para la calidad del aire en espacios cerrados*. Ginebra. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>
- Patton, M. Q. (2015). *Qualitative Research & Evaluation Methods: Integrating Theory and Practice*. Sage publications.
- Premium Filters SAS. (s.f.). *Filtración de aire: soluciones para una mejor calidad del aire interior*. <https://www.premiumfilters.com.co/filtracion-de-aire>
- Presidencia de la República de Colombia. (2015). *Decreto 1076 de 2015*.
<https://www.funcionpublica.gov.co>
- Pulido, Harvey (2021). *Filtración Industrial*. <https://premiumfilters.co/filtracion-industrial/>
- Seppänen, O. A., & Fisk, W. J. (2002). *Association of ventilation system type with SBS symptoms in office workers*. *Indoor Air*, 12(2), 98-112.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1034/j.1600-0668.2002.01111>.
- Seppänen, O., & Fisk, W. J. (2006). *Some quantitative relations between indoor environmental quality and work performance or health*. *HVAC&R Research*, 12(4), 957-973.
<https://doi.org/10.1080/10789669.2006.10391446>

Soler & Palau Ventilation Group. (s.f.). *Manual práctico de ventilación*.

<https://www.solerpalau.com/es-es/manual-ventilacion/>

Sundell, J. (2004). *On the history of indoor air quality and health*. *Indoor Air*, 14(s7), 51-58.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15330772/>

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2022). *Indoor air quality (IAQ)*. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq>

Wargocki, P., Porras-Salazar, J. A., & Contreras-Espinoza, S. (2017). *The relationship between indoor environmental quality and work performance in office buildings: A review of the literature*. *Building and Environment*, 123, 1-19.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.06.051>

Weekes, D. M., et al. (2020). *Diseño del sistema de ventilación mecánica y aire acondicionado para el auditorio de la facultad tecnológica* (Universidad Distrital Francisco José de Caldas). <https://repository.udistrital.edu.co/items/31958c85-8c6d-4183-a0fd-b89f2e05f533>

Weekes, D., Lapotaire, J. P., Persily, A., Siegel, J., Stephens, B., Walker, I., Wargocki, P., Lyngby, K., Bruce White, D., & Conlan, W. (2020). *MIEMBROS DEL COMITÉ “Cognizant Committee.”* www.ashrae.org.

Weekes, P., Leung, T., & Raftery, P. (2020). *Design and analysis of a fishbone air distribution system for open-plan offices*. *Building and Environment*, 180, 107021.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132320304429>

World Health Organization (WHO). (2021). *Indoor Air Quality Guidelines*.

<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-air-quality-and-health>

World Health Organization. (2022). *WHO ambient air quality database, 2022 update: status report*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240047693>

World Health Organization. (2022). *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>

Apéndice

Apéndice 1

Lista de verificación

Criterio	Sí (X)	No (X)	Observaciones
El auditorio dispone de un sistema de ventilación activa.			
Se lleva a cabo mantenimiento preventivo en el sistema de ventilación.			
La circulación de aire respeta las reglas de control ambiental que se encuentran vigentes.			
La calidad del aire en el auditorio se mide a intervalos regulares.			
Se han implementado estrategias de optimización energética.			
La temperatura y la humedad de un entorno determinado son monitoreadas.			
Se han llevado a cabo estudios respecto a la eficacia del sistema de ventilación.			
Se han detectado problemas de circulación de aire en el auditorio.			
Se han realizado recientemente cambios y mejoras en el sistema de ventilación.			
La ventilación permite una distribución y regulación térmica apropiada y saludable para los participantes.			

Nota. (Construcción propia, 2025)

Apéndice 2

Cuestionario



Cuestionario está dirigido a administradores y encargados de auditorios que cuentan con sistemas de ventilación y climatización, con el objetivo de recopilar información sobre su funcionamiento y eficiencia.

Objetivo: Diseñar un sistema de ventilación eficiente para el Auditorio de Bellas Artes en Ocaña, Norte de Santander, que garantice una adecuada circulación del aire, mejorando el confort térmico.

1. ¿Qué tipo de sistema de ventilación hace uso el auditorio?
2. ¿Cuál es el uso promedio y la capacidad total de usuarios para el auditorio?
3. ¿Cómo se logra la renovación del aire para el auditorio?
4. ¿Qué normas o estándares controlan el sistema de ventilación del auditorio?

5. ¿Cuál es el consumo de energía del sistema de ventilación del auditorio y cómo se optimiza?
6. ¿Se han evaluado problemas de calidad del aire o temperatura en el auditorio?
7. ¿Qué técnicas se han adoptado para controlar aún más la humedad relativa y mejorar el confort térmico?
8. ¿Qué tipo de mantenimiento se le da al sistema de ventilación y con qué frecuencia se realiza?
9. ¿Se han implementado estrategias de eficiencia energética en el sistema de ventilación?
10. ¿Qué más se necesita hacer para mejorar efectivamente la ventilación en el auditorio?

Gracias por su tiempo.