Universidad Católica de Santa María

## Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

## Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica-Eléctrica y Mecatrónica

# Diseño de aire acondicionado de una sala de operaciones multifuncional para un hospital de Essalud tipo 3 en la región de Arequipa aplicando la metodología BIM


Tesis presentada por:

**Moran Treviño, Kiher Jandir**

**ORCID: 0009-0002-1083-5901**


para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista


Asesor (a):

**Dr. Fernández Barriga, Camilo Grimaldo**

**ORCID: 0000-0001-5273-5509**



Arequipa – Perú

2026

UCSM-ERP

# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## INGENIERIA MECANICA, MECANICA-ELECTRICA Y MECATRONICA

## TITULACIÓN CON TESIS

## DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 31 de Marzo del 2026

**Dictamen: 015443-C-EPIMMEM-2026**

Visto el borrador del expediente 015443, presentado por:

**2015700691 - MORAN TREVIÑO KIHER JANDIR**

Titulado:

**DISEÑO DE AIRE ACONDICIONADO DE UNA SALA DE OPERACIONES MULTIFUNCIONAL PARA UN HOSPITAL DE ESSALUD TIPO 3 EN LA REGIÓN DE AREQUIPA APLICANDO LA METODOLOGÍA BIM**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**30857994 - GORDILLO ANDIA CARLOS ALBERTO**
**DICTAMINADOR**

**40223200 - HUACASI AÑAMURO LUDWIN DAVID**
**DICTAMINADOR**

**29460348 - AREVALO DAZA JORGE LUIS**
**DICTAMINADOR**

# DISEÑO DE AIRE ACONDICIONADO DE UNA SALA DE OPERACIONES MULTIFUNCIONAL PARA UN HOSPITAL DE ESSALUD TIPO 3 EN LA REGIÓN DE AREQUIPA APLICANDO LA METODOLOGÍA BIM

INFORME DE ORIGINALIDAD

| 14% | 13% | 2% | 6% |
|---|---|---|---|
| INDICE DE SIMILITUD | FUENTES DE INTERNET | PUBLICACIONES | TRABAJOS DEL ESTUDIANTE |

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|---|---|---|
| 1 | pdfcoffee.com<br>Fuente de Internet | 2% |
| 2 | hdl.handle.net<br>Fuente de Internet | 1% |
| 3 | oa.upm.es<br>Fuente de Internet | 1% |
| 4 | Submitted to Universidad Católica de Santa María<br>Trabajo del estudiante | 1% |
| 5 | idoc.pub<br>Fuente de Internet | 1% |
| 6 | www.coursehero.com<br>Fuente de Internet | <1% |
| 7 | Submitted to Universidad de Málaga - Tii<br>Trabajo del estudiante | <1% |
| 8 | repositorio.unsaac.edu.pe<br>Fuente de Internet | <1% |
| 9 | repositorio.unsa.edu.pe<br>Fuente de Internet | <1% |
| 10 | forospyware.com<br>Fuente de Internet | <1% |

**Dedicatoria**

*Dedico este trabajo a mis padres, María del Carmen Treviño y Luis Moran, a mis abuelos Sabina y Hugo, y a mi enamorada Grisell Valdivia quienes me guiaron y me brindaron su apoyo incondicional. Gracias a su amor, ejemplo y confianza he podido desarrollarme como profesional y como persona, y he tenido la fortaleza para cumplir mis metas y objetivos.*

*Dedico también esta tesis a Dios, quien ha iluminado mi camino, acompañándome en cada paso y enseñándome, a través de la experiencia, a ser una mejor persona.*

**Agradecimientos**

*Agradezco, en primer lugar, a Dios, por ser mi guía constante, por iluminar mi camino incluso en los momentos de mayor incertidumbre y por darme la fortaleza necesaria para continuar avanzando. Su presencia en mi vida ha sido un pilar fundamental para mantenerme firme en mis objetivos y perseverar con esperanza y determinación.*

*Expreso mi más profundo agradecimiento a mi familia, cuyo apoyo incondicional ha sido la base sobre la cual he construido cada uno de mis logros. Gracias por su amor, por sus palabras de aliento y por estar a mi lado en cada etapa de mi vida universitaria. Cada sacrificio, cada gesto de confianza y cada muestra de cariño han sido motores que me impulsaron a seguir adelante incluso cuando el camino se volvía difícil.*

*Asimismo, deseo agradecer a los ingenieros y docentes de mi carrera, quienes con dedicación, paciencia y compromiso compartieron sus conocimientos y experiencias. Sus enseñanzas no solo contribuyeron a mi crecimiento académico, sino también a la formación de mis valores y mi identidad profesional. Gracias por sembrar en mí el interés, la disciplina y la motivación necesarios para convertirme en un profesional íntegro y competente.*

## Resumen

El trabajo se desarrolló en el diseño de las instalaciones de aire acondicionado para una sala de operaciones de un hospital tipo III de EsSalud en Arequipa, buscando garantizar confort térmico, calidad de aire y control de infecciones. Se planteó como problema la limitada capacidad de los enfoques tradicionales 2D para coordinar arquitectura, estructura e instalaciones, lo que generaba interferencias y sobrecostos. Ante esto, se propuso diseñar el sistema HVAC aplicando la metodología BIM y normativas como ASHRAE y la regulación sanitaria peruana.

La investigación se estructuró como un estudio de diseño aplicado. Primero se caracterizó el hospital (clima, ocupación, cargas y ambientes críticos); luego se determinaron las cargas térmicas y de ventilación mediante un método analítico verificado con el software ELITE HVAC. Posteriormente, se dimensionaron los ductos por el método de igual fricción bajo recomendaciones ASHRAE y se seleccionaron manejadoras y elementos terminales. Todo el sistema se modeló en Revit dentro de un entorno BIM federado con arquitectura y estructura, realizando revisiones de interferencias y obteniendo metrados para el análisis de costos.

El diseño propuesto cumplió los rangos de temperatura, humedad, renovaciones de aire y presiones exigidos en quirófanos y UCI. Las cargas calculadas manualmente tuvieron discrepancias menores frente a ELITE, validando el procedimiento. El análisis de pérdidas de presión en ductos fue coherente con ASHRAE, asegurando el balance de caudales. El modelo BIM generó planos coordinados, metrados automáticos y una estimación de costos de mano de obra, materiales y equipos de 41 088.42 soles, demostrando que la integración BIM-HVAC mejoró la calidad técnica y trazabilidad.



**Palabras Clave**: Hospital, HVAC, BIM

**Abstract**

This study was developed within the context of designing HVAC systems for an operating room at an EsSalud Type III Hospital in Arequipa, aiming to guarantee thermal comfort, indoor air quality, and infection control. The research addressed the limitations of traditional 2D approaches in coordinating architecture, structure, and MEP systems, which typically cause spatial interferences and cost overruns. To mitigate this, the HVAC system was designed utilizing Building Information Modeling (BIM) methodology alongside ASHRAE standards and Peruvian healthcare regulations.

The research was structured as an applied design study. First, the hospital was characterized by analyzing local climate, occupancy, internal loads, and critical environment classifications. Thermal and ventilation loads were determined through an analytical method and verified via ELITE HVAC software. Duct sizing was performed using the equal friction method following ASHRAE recommendations, followed by the selection of air handling units and terminal devices. The system was modeled in Revit within a federated BIM environment, allowing for clash detection and automated quantity takeoffs.

The proposed design met the temperature, humidity, air exchange rates, and differential pressures required for operating rooms and ICUs. Manually calculated loads showed minor discrepancies compared to ELITE, validating the procedure. The pressure drop analysis aligned with ASHRAE databases, ensuring proper airflow balancing. Furthermore, the BIM model generated coordinated drawings, precise quantity takeoffs, and a detailed cost estimation for labor, materials, and equipment totaling 41,088.42 PEN, demonstrating that BIM-HVAC integration enhanced the project's technical quality and traceability.

**Kweywords:** Hospital, HVAC, BIM

**Índice General**

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN ..... 1

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 3

1.1 Descripción del problema ..... 3

1.2 Objetivos. ..... 4

1.2.1 Objetivo General ..... 4

1.2.2 Objetivos Específicos ..... 5

1.3 Alcances. ..... 5

1.4 Limitaciones. ..... 6

1.5 Normativas aplicadas ..... 7

1.5.1 Normas Nacionales ..... 7

1.5.2 Normas Internaciones ..... 7

1.6 Software o programas ..... 9

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO ..... 10

2.1 Aire acondicionado y ventilación en ambientes hospitalarios ..... 10

2.1.1 Función del sistema HVAC en hospitales. ..... 10

2.1.2 Criterios de diseño HVAC en hospitales ..... 10

2.1.3 Ventilación y calidad de Aire ..... 12

2.1.3.1 Filtración de Aire ..... 14

2.1.4 Presurización y contención ..... 16

2.1.4.1 Principios de presurización ..... 17

2.1.5 Cargas térmicas en ambientes hospitalarios ..... 17
2.1.5.1 Cargas sensibles y latentes. ..... 17
2.1.5.2 Cargas de recalentamiento. ..... 18
2.1.5.3 Cargas de procesos especiales. ..... 18
2.2 Normativas de Diseño Hospitalario ..... 19
2.3 Tecnologías de Aire Acondicionado ..... 19
2.4 Seguridad en Instalaciones HVAC ..... 20
2.5 Métodos de cálculo de cargas térmicas de calefacción y calentamiento. ..... 20
2.5.1 Definición de carga térmica ..... 20
2.5.2 Método de Ganancias Térmicas (CLTD) ..... 21
2.5.3 Método de Transferencia de Calor por Hora (HB) ..... 21
2.5.4 Método Radiación/Split (Radiant Time Series – RTS) ..... 22
2.5.5 Simulación energética computacional (Dynamic Simulation ..... 22
2.5.6 Fundamentos del método CLTD. ..... 22
2.5.6.1 Factor de superficie opaca. ..... 23
2.5.6.2 Ganancia de calor por superficie opaca. ..... 24
2.5.6.3 Ganancia de calor por alumbrado. ..... 24
2.5.6.4 Ganancia de calor sensible por personas. ..... 24
2.5.6.5 Ganancia de calor por equipos médicos. ..... 25
2.5.6.6 Calor sensible subtotal de recinto con factor de seguridad. ..... 25
2.5.6.7 Caudal de aire de suministro por carga sensible. ..... 26
2.5.6.8 Calor latente por personas. ..... 26
2.5.6.9 Calor sensible del aire exterior. ..... 27
2.5.6.10 Calor latente total del aire exterior. ..... 27
2.5.6.11 Calor sensible total. ..... 28

2.5.6.12 Calor total del sistema. ..... 28
2.5.6.13 Calor latente del aire exterior (sin personas). ..... 28
2.6 Métodos de cálculos de Ductos. ..... 30
2.6.1 Métodos existentes para el cálculo de ductos ..... 31
2.6.1.1 Método de fricción constante (Equal Friction Method). ..... 31
2.6.1.2 Método de igual presión total (Static Regain Method). ..... 31
2.6.1.3 Método de velocidad constante (Velocity Method). ..... 31
2.6.2 Procedimiento de cálculo para un ducto rectangular ..... 33
2.6.2.1 Determinación de la geometría y la velocidad. ..... 33
2.6.2.2 Cálculo del número de Reynolds y régimen. ..... 34
2.6.2.3 Obtención del factor de fricción. ..... 34
2.6.2.4 Cálculo de la pérdida de presión. ..... 35
2.7 Metodología BIM aplicada a Hospitales ..... 36
2.7.1 Origen y fundamentos de la metodología BIM ..... 36
2.7.2 Usos de BIM en la industria de la construcción ..... 37
2.7.3 Aplicación de BIM en hospitales ..... 38
2.7.4 BIM en sistemas de climatización hospitalaria (HVAC) ..... 40
2.7.5 Coordinación BIM entre arquitectura, estructura y MEP ..... 40
CAPÍTULO III: INGENIERÍA DEL PROYECTO ..... 43
3.1 Modelado arquitectónica y estructural ..... 43
3.2 Condiciones climáticas ..... 44
3.2.1 Condiciones del Sitio ..... 44
3.2.2 Recomendaciones de velocidades del aire y caída de presión ..... 45
3.2.3 Coeficientes globales de transmisión ..... 46
3.2.4 Clasificación de zonas del hospital ..... 46

3.3 Cálculos térmicos para confort ..... 56
3.3.1 Cálculo de Sala de operaciones multifuncional ..... 56
3.3.1.1 Cálculo de cargas térmicas analíticamente. ..... 56
3.3.1.2 Cálculo de cargas térmicas por software ELITE HVAC. ..... 64
3.3.1.3 Comparación entre cálculo analítico y por Software. ..... 69
3.3.2 Resumen de cálculos térmicos ..... 69
3.4 Diseño de sistema de ductos. ..... 69
3.4.1 Diseño de suministro de aire acondicionado en Sala de Operaciones ..... 70
3.4.1.1 Cálculo de caída de Presión en ductos Sala de operaciones en Revit. ..... 72
3.4.1.2 Comprobación de cálculos de ductos. ..... 81
3.4.1.3 Cálculos en uniones y accesorios. ..... 95
3.4.2 Diseño de sistema de extracción en sala de operaciones. ..... 112
3.4.3 Selección Equipos de suministro en sala de operaciones. ..... 117
3.4.4 Selección Equipos de extracción en sala de operaciones ..... 118
3.5 Reporte de Colisiones ..... 119
3.6 Metodología BIM ..... 123
3.7 Metrados y Costos ..... 125
3.7.1 Metrados y costos de ductos de fabricación y uniones ..... 126
3.7.2 Metrados de Dampers ..... 131
3.7.3 Metrados de terminales de Aire ..... 131
3.7.4 Metrados de Equipos HVAC y Filtros ..... 133
3.7.5 Soportes colgantes de Ductos ..... 133
3.7.6 Análisis de precios unitarios ..... 134
3.7.7 Análisis de costos unitarios ductos sistema hvac ..... 134
3.7.8 Análisis de costos unitarios rejillas y difusores ..... 145

3.7.9 Análisis de costos unitarios equipos HVAC. ..... 148

3.7.10 Costos de fabricación e instalación del sistema HVAC. ..... 150

CONCLUSIONES ..... 153

RECOMENDACIONES ..... 155

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 157

## Índice de Figuras

**Figura 1** *Hospital en construcción* ..... 4

**Figura 2** *Disposición típica de un quirófano.* ..... 12

**Figura 3** *Fuentes de cargas de enfriamiento en el Quirófano.* ..... 19

**Figura 4** *Etapas o niveles de la metodología BIM* ..... 37

**Figura 5** *Dimensiones de la Metodología BIM* ..... 38

**Figura 6** *Sistema de ductos HVAC modelado en Revit.* ..... 39

**Figura 7** *Niveles de Lod en Ductos HVAC* ..... 42

**Figura 8** *Modelado Arquitectónico del hospital* ..... 43

**Figura 9** *Plano Autocad sala de operaciones.* ..... 44

**Figura 10** *Modelado 3D sala de operaciones multifuncional* ..... 44

**Figura 11** *Geometría de la sala de operaciones* ..... 57

**Figura 12** *Datos psicrométricos de entrada y salida para condiciones de aire* ..... 63

**Figura 13** *Datos generales del proyecto* ..... 64

**Figura 14** *Tiempo de operación de la sala* ..... 64

**Figura 15** *Condiciones ambientales de Arequipa.* ..... 65

**Figura 16** *Materiales y factores globales de transferencia global* ..... 65

**Figura 17** *Definición de la manejadora de Aire* ..... 66

**Figura 18** *Definición del ambiente* ..... 67

**Figura 19** *Cambio de renovaciones por hora* ..... 67

**Figura 20** *Resultados Sala de operaciones* ..... 68

**Figura 21** *Ruta Crítica Sala de Operaciones* ..... 71

**Figura 22** *Ruta Critica selección en software* ..... 82

**Figura 23** *Resultados Ducto tramo 24* ..... 95

**Figura 24** Cálculo de accesorio tramo 8 ID 823099 ..... 96

**Figura 25** *Tramo 10 ID 1003193 SR4-1* ..... 97

**Figura 26** *Cálculo Tramo 12, ID* 816739 *Código SR5-5* ..... 98

**Figura 27** *Cálculo Tramo 11, ID* 1037995 *Código SR4-2* ..... 99

**Figura 28** *Cálculo tramo 12, ID 1037784, Código SR4-2* ..... 100

**Figura 29** *Cálculo tramo 14, ID 116325, Código SR5-5* ..... 101

**Figura 30** Cálculo Tramo 14, código ID 945460 ..... 102

**Figura 31** Cálculo Tramo 15, código ID 1037479 ..... 103

**Figura 32** Cálculo Tramo 16, código ID 1816197 ASHRAE CR3-1 ..... 104

**Figura 33** Cálculo Tramo 15, código ID 1037479 ..... 105

**Figura 34** *Cálculo tramo 22,23 y 28 ID 949066, Código SR5-5* ..... 106

**Figura 35** Cálculo Tramo 22, código ID 1038230 ..... 107

**Figura 36** Cálculo Tramo 22, código ID 1092150 ..... 108

**Figura 37** Cálculo Tramo 24, código ID 1036312 ASHRAE CR3-1 ..... 109

**Figura 38** Cálculo Tramo 25, código ID 1036466 SR4-2 ..... 110

**Figura 39** Cálculo Tramo 27, código ID 1045158 SR4-2 ..... 111

**Figura 40** *Ductos de extracción trazado en Sala de Operaciones* ..... 112

**Figura 41** *Datos técnicos AHU* ..... 118

**Figura 42** *Ventilador de extracción sala de operaciones* ..... 119

**Figura 43** *Colisión entre ductos y arquitectura* ..... 122

**Figura 44** *Ductos y uniones de suministro y extracción.* ..... 130

**Figura 45** *Soporte colgante* ..... 134

## Índice de Tablas


Tabla 1 *Condiciones de confort en ambientes hospitalarios* ..... 11

Tabla 2 *Ventilación por Ambientes* ..... 13

Tabla 3 *Eficiencia de filtros (MERV) y eficiencia por tamaño de partículas.* ..... 15

Tabla 4 *Tipo de Filtros por ambientes.* ..... 16

Tabla 5 *Resumen de ecuaciones* ..... 29

Tabla 6 *Parámetros de diseño exteriores.* ..... 45

Tabla 7 *Velocidades de conducto recomendadas y máximas para sistemas convencionales* .. 45

Tabla 8 *Coeficiente globales de transferencia de calor en muros y techos* ..... 46

Tabla 9 *Clasificación de zonas del hospital.* ..... 47

Tabla 10 *Consideraciones de diseño para sala de operaciones* ..... 56

Tabla 11 *Coeficientes del factor de enfriamiento para superficies opacas* ..... 58

Tabla 12 *Equipos en sala de operaciones multifuncional* ..... 59

Tabla 13 *Resumen de cargas térmicas para sala de operación.* ..... 63

Tabla 14 *Resultados entre cálculos analíticos y por software* ..... 69

Tabla 15 *Clasificación del sistema HVAC* ..... 72

Tabla 16 *Pérdidas de presión en sala de operaciones* ..... 73

Tabla 17 *Presión en ductos rectos* ..... 76

Tabla 18 *Pérdidas de Presión en accesorios y uniones* ..... 79

Tabla 19 *Cálculo ducto recto tramo 9* ..... 83

Tabla 20 *Cálculo ducto recto tramo 10* ..... 84

Tabla 21 *Cálculo ducto recto tramo 12* ..... 85

Tabla 22 *Cálculo ducto recto Tramo 13* ..... 86

Tabla 23 *Cálculo ducto recto Tramo 16* ..... 87

Tabla 24 *Cálculo ducto recto Tramo 17* ..... 89

Tabla 25 *Cálculo ducto recto Tramo 22* ..... 90

Tabla 26 *Cálculo ducto recto Tramo 23* ..... 91

Tabla 27 *Cálculo ducto recto Tramo 24* ..... 92

Tabla 28 *Cálculo ducto recto Tramo 26* ..... 93

**Tabla 29** *Perdidas en Dampers* ..... 97

Tabla 30 *Perdidas de presión en tramo recto* ..... 113

Tabla 31 *Perdidas de Presión en accesorios* ..... 113

Tabla 32 *Perdida de presión en sistema de extracción en sala de operaciones.* ..... 115

Tabla 33 *Reporte de Colisiones entre ductos y arquitectura* ..... 120

Tabla 34 *Fases de la metodología BIM en Sala de Operaciones* ..... 123

Tabla 35 *Metrados Fabricación de Ductos y Uniones* ..... 126

Tabla 36 *Dampers de Balanceo* ..... 131

Tabla 37 *Metrados de difusores y rejillas de extracción* ..... 131

Tabla 38 *Metrados de Equipos HVAC y Filtros* ..... 133

Tabla 39 *ACU Ductos de plancha galvanizada para hvac* ..... 135

Tabla 40 *Aislamiento térmico para ductos metálicos* ..... 136

Tabla 41 *ACU Soporte metálico para ducto en montante* ..... 136

Tabla 42 *ACU Soporte metálico para ductos en piso* ..... 138

Tabla 43 *ACU Soporte metálico para ductos suspendidos en techo* ..... 138

Tabla 44 *ACU Damper cortafuego rectangular de 8"x6"* ..... 139

Tabla 45 *ACU Caja porta filtró 30"x30"* ..... 140

Tabla 46 *ACU Bases y soportes Metálicos para Equipos Roof Top* ..... 141

Tabla 47 *ACU Bases y soportes metálicos para equipos de ventilación mecánica.* ..... 142

Tabla 48 *ACU Damper de gravedad diferentes medidas* ..... 143

Tabla 49 *ACU Filtro HEPA 99% 30"x30x24"* ..... 144

Tabla 50 *Resumen de costos unitarios en ductos, uniones y accesorios* ..... 144

Tabla 51 *ACU Difusores* ..... 145

Tabla 52 *ACU Rejillas de extracción* ..... 146

Tabla 53 *Rejillas en puertas* ..... 147

Tabla 54 *Resumen de Costos difusores y rejillas.* ..... 148

Tabla 55 *Suministro de extractor centrifugo* ..... 148

Tabla 56 *Suministro de UMA y Condensador* ..... 149

Tabla 57 *Equipos de HVAC* ..... 150

Tabla 58 *Resumen de Costos Totales* ..... 150

## Índice de Anexos

ANEXO 1 Especificaciones Técnicas UMA (AHU) ..... 160

ANEXO 2 Extractor centrifugo..... 165

ANEXO 3 Cálculos Térmicos en software Elite CHVAC ..... 166

ANEXO 4 Filtro Merv16 ..... 174

ANEXO 5 Planos ..... 176

## Introducción

Los hospitales constituyen una de las infraestructuras más complejas del sector construcción, pues concentran una alta densidad de sistemas mecánicos, eléctricos y sanitarios, sometidos a estrictas exigencias de seguridad, continuidad operativa e higiene ambiental. En estos establecimientos, el sistema de climatización y ventilación (HVAC) no solo aporta confort térmico, sino que forma parte de las barreras de control de infecciones al regular temperatura, humedad, presiones diferenciales y calidad del aire en zonas como quirófanos, salas de aislamiento, UCI y laboratorios (ASHRAE, 2017; WHO, 2009).

Las normas internacionales, como la ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170, han establecido requisitos mínimos de renovaciones de aire, niveles de filtración y relaciones de presión para diferentes áreas de atención, constituyéndose en referencia técnica obligada para el diseño de sistemas HVAC hospitalarios. Standard 170 proporciona tablas específicas de caudales, filtros mínimos y rangos de temperatura y humedad para salas de operaciones, áreas de cuidados críticos y zonas de aislamiento, con el fin de garantizar un ambiente seguro tanto para pacientes como para el personal de salud (ASHRAE, 2017). En el contexto peruano, estas exigencias se complementan con la Norma Técnica de Salud para Infraestructura y Equipamiento del MINSA y el Reglamento Nacional de Edificaciones, que fijan condiciones ambientales y criterios de seguridad para los establecimientos de salud.

El diseño de HVAC en hospitales se enfrenta además a la creciente necesidad de eficiencia energética, trazabilidad de la información técnica y reducción de errores en obra. La metodología Building Information Modeling (BIM) surge como respuesta a esta complejidad, al permitir integrar en un modelo digital único la información geométrica, técnica y funcional de la edificación. Eastman et al. señalaron que “BIM permite integrar la información geométrica, técnica, funcional y temporal de todos los elementos que componen una edificación” (2011, p. 15), resaltando su capacidad para gestionar el ciclo de vida del activo.

Esta integración resulta especialmente relevante en hospitales, donde los sistemas HVAC deben coordinarse con estructura, arquitectura, bandejas eléctricas y redes de gases medicinales en espacios técnicos muy restringidos.

Diversos autores han mostrado que BIM favorece la coordinación multidisciplinaria y la detección temprana de interferencias. Volk et al. afirman que la coordinación BIM es esencial para evitar retrasos y sobrecostos en obras hospitalarias, donde el espacio técnico es limitado y la funcionalidad crítica, subrayando el impacto económico y operativo de su implementación. En el ámbito específico de climatización, ASHRAE ha reconocido que BIM permite diseñar, verificar y mantener sistemas HVAC en edificios críticos como hospitales con un alto nivel de control y precisión, lo que refuerza su pertinencia como herramienta de diseño y gestión para estos sistemas.

En la ciudad de Arequipa, las condiciones climáticas locales, combinadas con la construcción de nuevos hospitales de alta complejidad, plantean el reto de diseñar sistemas HVAC que aseguren confort térmico y seguridad ambiental, respetando a la vez las restricciones espaciales de una arquitectura ya definida. Bajo este contexto, la presente tesis se plantea como propósito diseñar las instalaciones de aire acondicionado de un hospital tipo III de EsSalud aplicando la metodología BIM en zonas críticas y de confort. Para ello, se determinan las cargas térmicas y de ventilación, se dimensionan ductos y se seleccionan equipos conforme a normas internacionales (ASHRAE 170, NFPA 99/90A) y nacionales (MINSA, RNE), integrando toda la información en un modelo BIM que permita la coordinación interdisciplinaria, la obtención de metrados y la estimación de costos del sistema HVAC.

# CAPÍTULO I: Planteamiento del Problema

## 1.1 Descripción del problema

El diseño del sistema de aire acondicionado en un hospital Tipo III de EsSalud en Arequipa representa un desafío técnico y normativo de gran envergadura, donde se deben garantizar condiciones óptimas de confort térmico, higiene ambiental, eficiencia energética y seguridad para pacientes, personal médico y visitantes. Este tipo de establecimiento concentra ambientes con exigencias térmicas y de calidad del aire muy específicas, como quirófanos con presión positiva, salas de aislamiento con presión negativa, áreas de hospitalización, UCI, laboratorios, entre otros. Además, se deben cumplir normativas nacionales del MINSA y normas internacionales como ASHRAE 170 y NFPA 99/90A, que regulan los parámetros de diseño, ventilación, filtración, renovación de aire y seguridad contra incendios en hospitales.

Al tratarse de una nueva construcción con diseño arquitectónico ya definido, surge el reto adicional de integrar el sistema de climatización y sus componentes eléctricos dentro de los espacios arquitectónicos preestablecidos, sin comprometer funcionalidad ni normativas. Esto exige una coordinación precisa entre disciplinas técnicas (arquitectura, estructura, instalaciones eléctricas, HVAC, gases medicinales, etc.), algo que en enfoques tradicionales con planos 2D resulta propenso a errores, interferencias y retrabajos.

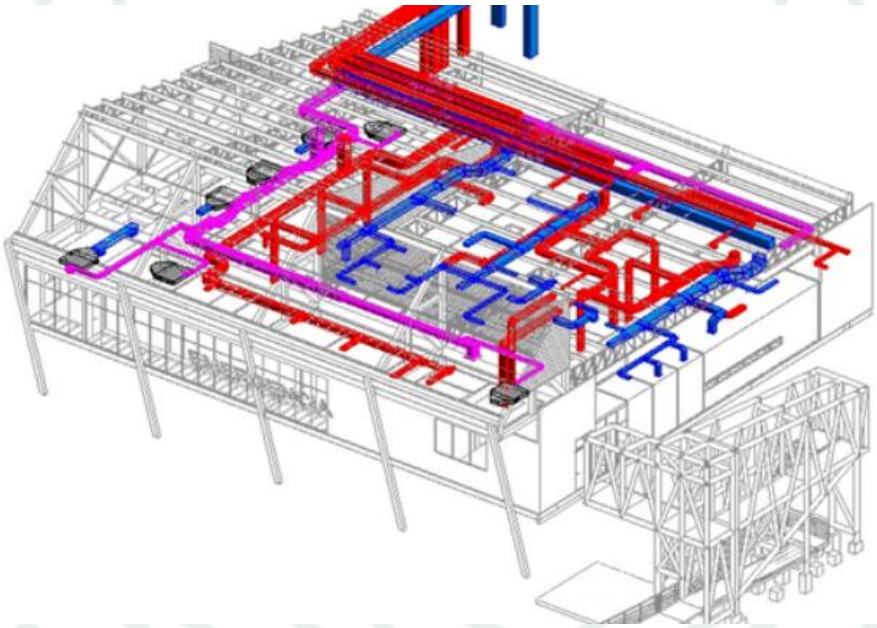
En este contexto, la aplicación de la metodología BIM (Building Information Modeling) se vuelve esencial para asegurar un diseño HVAC hospitalario eficiente, coordinado y trazable. BIM permite modelar tridimensionalmente todos los componentes del sistema de aire acondicionado, incluyendo equipos, ductos, sensores y válvulas, así como su integración con bandejas eléctricas, tableros, rutas de cables y accesos de mantenimiento. Además, permite detectar colisiones, simular flujos de aire, generar metrados automáticos y planificar el mantenimiento, todo desde una plataforma colaborativa que centraliza la información del proyecto.

No implementar BIM en este tipo de proyecto supondría un alto riesgo de errores de coordinación, sobredimensionamiento, interferencias físicas, incumplimiento normativo o sobrecostos en obra. Por tanto, el problema principal puede plantearse como:

¿Cómo diseñar un sistema de aire acondicionado integral y normativamente conforme para un hospital Tipo III en Arequipa, asegurando condiciones de confort, seguridad e higiene, y garantizando su correcta integración arquitectónica, estructural y eléctrica mediante el uso de la metodología BIM?

**Figura 1**

*Hospital en construcción*



*Nota.* Adaptado de Pronis aplica tecnología constructiva BIM para la ejecución de los futuros hospitales del país - Noticias - Ministerio de Salud - Plataforma del Estado Peruano.

## 1.2 Objetivos.

### *1.2.1 Objetivo General*

Diseñar el aire acondicionado de una sala de operaciones multifuncional para un hospital de Essalud Tipo 3 en la región de Arequipa aplicando la metodología BIM

### *1.2.2 Objetivos Específicos*

- Determinar las cargas térmicas y de ventilación necesarias para la sala de operaciones, en cumplimiento de la norma ASHRAE.
- Diseñar los de ductos y seleccionar los equipos de climatización de acuerdo con la norma ASHRAE.
- Implementar la metodología BIM compatibilizando la arquitectura y la parte estructural de la sala de operaciones con el hospital.
- Realizar el coste del proyecto.

## 1.3 Alcances.

- Diseño de sala de operaciones, no se considerará un diseño del restó de ambientes, aunque la arquitectura será importante para la metodología BIM
- Cálculo de cargas térmicas y de ventilación para la sala de Operaciones, considerando las condiciones climáticas específicas de Arequipa, la orientación del edificio, los materiales constructivos y las cargas internas (personas, iluminación, equipos médicos).
- Selección y dimensionamiento de equipos principales del sistema HVAC: chillers, calderas (si aplica), manejadoras de aire, unidades terminales, extractores, difusores, ductos, filtros y sensores.

Aplicación de la metodología BIM en el modelado 3D del sistema HVAC y Sanitario, incluyendo coordinación interdisciplinaria, detección de interferencias, trazabilidad técnica, generación de planos y planificación de mantenimiento.

Cumplimiento normativo nacional e internacional, incorporando los lineamientos del MINSA, ASHRAE 170, NFPA 99/90A, y buenas prácticas internacionales para instalaciones hospitalarias.

Elaboración de planos de diseño, cuadro de metrados referenciales con estimación presupuestal.

### 1.4 Limitaciones.

- El proyecto no contempla la ejecución física ni supervisión de obra, limitándose exclusivamente al diseño técnico de ingeniería y documentación correspondiente.
- No se incluye el diseño del sistema de gases medicinales, agua potable, desagüe, o incendio, aunque se considerará su presencia en la coordinación espacial mediante BIM.
- No se consideran estudios topográficos ni estructurales, ya que el hospital cuenta con diseño arquitectónico definido y aprobado previamente.
- El proyecto no desarrolla un análisis detallado de eficiencia energética bajo simulación certificada (como LEED o EDGE), aunque se incluirán medidas de eficiencia y recomendaciones generales.
- No se evalúan costos de operación ni mantenimiento post-construcción, salvo por estimaciones de consumo eléctrico y recomendaciones generales para el Facility Management.
- La modelación BIM se enfocará en niveles LOD 300 a 350, sin llegar a ejecución (LOD 400) ni operación (LOD 500), salvo en componentes críticos. Normativas de Diseño.
- Las normativas son vitales para el diseño de estos proyectos porque presentan un marco normativo obligatorio a nivel nación e internacionales, en diseño, seguridad, calidad entre otros.

## 1.5 Normativas aplicadas

### *1.5.1 Normas Nacionales*

Norma Técnica de Salud para Infraestructura y Equipamiento de Establecimientos de Salud (MINSA) Regula los requerimientos técnicos que deben cumplir los establecimientos de salud en el Perú. Especifica condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa, presiones diferenciales) para cada ambiente hospitalario, así como la necesidad de filtración, ventilación y confort térmico. Establece qué ambientes requieren presión positiva o negativa y la necesidad de sistemas de climatización mecánica.

Reglamento Nacional de Edificaciones – RNE (Ministerio de Vivienda) Contiene los lineamientos técnicos obligatorios para edificaciones en el Perú. La Norma Técnica G.050 "Seguridad durante la construcción", G.010 "Instalaciones Sanitarias", y E.020 "Cargas" pueden aplicarse indirectamente en el diseño HVAC. También se consideran aspectos de seguridad eléctrica y estructural.

3. Código Nacional de Electricidad (CNE) – Utilización Normativa obligatoria para instalaciones eléctricas en todo el país. Define requisitos de seguridad, dimensionamiento de conductores, protecciones, puesta a tierra y condiciones de instalación para circuitos eléctricos que alimentan equipos HVAC, incluyendo tableros y grupo electrógeno.

4. Guía Técnica de Equipamiento y Mantenimiento del Ministerio de Salud (MINSA) Proporciona criterios técnicos para asegurar el adecuado mantenimiento y operación de sistemas críticos como el HVAC, especialmente en ambientes de alta demanda sanitaria como quirófanos y salas UCI. También incluye recomendaciones de redundancia, acceso y respaldo energético.

### *1.5.2 Normas Internaciones*

- ASHRAE 170 – Ventilation of Health Care Facilities. Norma fundamental para la ventilación hospitalaria. Establece tasas mínimas de renovación de aire (ACH), niveles

de filtración (MERV o HEPA), presiones diferenciales, ubicación de rejillas y requerimientos específicos por tipo de ambiente hospitalario (quirófano, UCI, aislamiento, etc.).

- ASHRAE 62.1 – Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Define los criterios para asegurar calidad de aire interior aceptable en edificios no residenciales. Se usa como referencia en ambientes hospitalarios no críticos. Establece caudales mínimos de aire fresco por persona y por metro cuadrado.
- 3. ASHRAE 55 – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Establece rangos de temperatura, humedad, velocidad del aire y vestimenta para alcanzar confort térmico. Es útil para ambientes hospitalarios como habitaciones de pacientes y áreas administrativas.
- NFPA 99 – Health Care Facilities Code. Define requisitos de seguridad para instalaciones eléctricas, gases médicos, sistemas de climatización y control de infecciones en hospitales. Clasifica los sistemas según su nivel de riesgo para la vida del paciente. Obliga a incluir respaldo eléctrico para HVAC en zonas críticas.
- NFPA 90A – Standard for the Installation of Air-Conditioning and Ventilating Systems. Regula la instalación segura de sistemas de ventilación y aire acondicionado en edificios, incluyendo hospitales. Establece requisitos para ductos, compuertas cortafuego (fire dampers), sellado de penetraciones y materiales resistentes al fuego.
- NFPA 70 – National Electrical Code (NEC). Base para la seguridad eléctrica en instalaciones. Complementa al CNE peruano. Define criterios de cableado, protecciones, canalizaciones y separación de circuitos críticos como los que alimentan sistemas HVAC en hospitales.
- Facility Guidelines Institute (FGI) Guidelines for Design and Construction of Hospitals. Guía internacionalmente reconocida que complementa a ASHRAE y NFPA

en el diseño arquitectónico y funcional de hospitales, incluyendo parámetros de confort, diseño modular y necesidades especiales de climatización por función médica.

## 1.6 Software o programas

- Autodesk Revit
- Autodesk Naviswork
- Elite HVAC
- Mathcad Prime.

# CAPÍTULO II: Marco Teórico

Para abordar el diseño del sistema de aire acondicionado hospitalario, es fundamental establecer un marco teórico que incluya los conceptos clave de climatización, los estándares de confort, y las normativas técnicas tanto nacionales como internacionales que rigen las instalaciones HVAC en establecimientos de salud. A continuación, se detallan los principales aspectos teóricos y normativos relevantes:

## 2.1 Aire acondicionado y ventilación en ambientes hospitalarios

El diseño de sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) en hospitales difiere sustancialmente del aplicado a otros edificios comerciales o residenciales. Esto se debe a la naturaleza crítica de las actividades desarrolladas, la vulnerabilidad de los pacientes y la operación continua de los servicios médicos. Según ASHRAE (2013), "las instalaciones de salud... operan 24 horas/día, 7 días/semana y son ocupadas por el propietario por ciclos de larga vida" (p. 1), por lo que requieren un sistema HVAC robusto, confiable y seguro.

### *2.1.1 Función del sistema HVAC en hospitales.Criterios de diseño HVAC en hospitales*

El diseño debe ajustarse a normativas internacionales y a los requerimientos del propietario o autoridad local. "Una de las primeras tareas de los diseñadores de HVAC es establecer los criterios de diseño del proyecto" (ASHRAE, 2013, p. 5). Estos incluyen:

- Normas **ANSI/ASHRAE/ASHE 170-2008** sobre ventilación hospitalaria.
- Pautas del Facility Guidelines Institute (FGI).
- Códigos NFPA 101, ASHRAE 90.1 y estándares LEED® for Healthcare.
- Normas de MINSA y ESSALUD.
- Requisitos de redundancia, presiones, tasas de ventilación y filtración.

ASHRAE también destaca que los sistemas HVAC deben coordinarse con los sistemas estructurales, eléctricos, sanitarios y arquitectónicos desde etapas tempranas, dentro de un "diseño integrado" (ASHRAE, 2013, p. 13).

- Aquí tienes la información de la imagen convertida en una tabla de Markdown:

**Tabla 1**

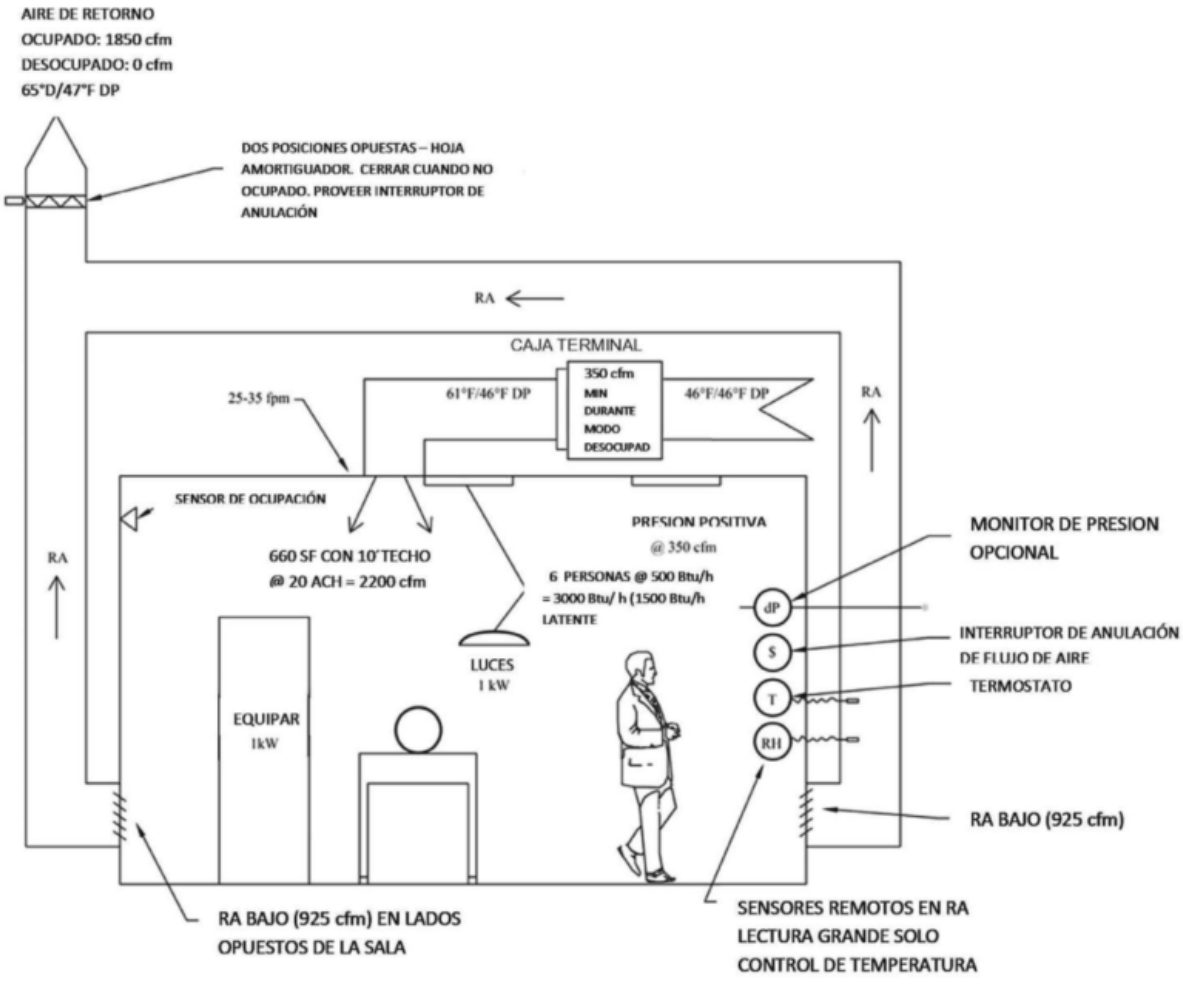
*Condiciones de confort en ambientes hospitalarios*

| Año | Nota. | Temperatura, °F [°C] | RH, % | ACH, ach | OA, ach |
|---|---|---|---|---|---|
| 1971 | ASHRAE (1971) | 68 a 76 [20 a 25] | 50 | 25 | 5 |
| 1974 | U.S. HEW | 68 a 76 [20 a 25] | 50 a 60 | 25a | 25 |
| 1974 | U.S. HEW | 68 a 76 [20 a 25] | 50 a 60 | 25b | 5 |
| 1978 | U.S. HEW | 68 a 76 [20 a 25] | 50 a 60 | 15a | 15 |
| 1978 | U.S. HEW | 68 a 76 [20 a 25] | 50 a 60 | 25b | 5 |
| 1983 | AIA | 70 a 75 [21 a 24] | 45 a 60 | 20 | 4 |
| 1987 | AIA | 70 a 75 [21 a 24] | 50 a 60 | 15 | 3 |
| 1987 | ASHRAE (1987) | 68 a 76 [20 a 25] | 50 60 | 15/25 | 15/5 |
| 1992 | AIA | 70 a 75 [21 a 24] | 50 a 60 | 15 | 3 |
| 1999 | ASHRAE (1999) | 62 a 80 [20 a 27] | 45 a 55 | 25 | 5 |
| 2001 | AIA | 68 a 73 [20 a 23] | 30 a 60 | 15 | 3 |
| 2002 | NFPA (2002) | 68 a 73 [20 a 23] | 50 | 25 | 5 |
| 2003 | ASHRAE (2003a) | 62 a 80 [20 a 27] | 45 a 55 | 25 | 5 |
| 2003 | ASHRAE (2003b) | 68 a 75 [20 a 24] | 30 a 60 | 25 | 5 |
| 2005 | NFPA (2005) | 68 a 73 [20 a 23] | 35 | 25 | 5 |
| 2006 | AIA | 68 a 73 [20 a 23] | 30 a 60 | 15 | 3 |
| 2008 | ASHRAE (2008) | 68 a 75 [20 a 24] | 20 a 60c | 20 | 4 |
| 2010 | FGI (2010) | 68 a 75 [20 a 24] | 20 a 60c | 20 | 4 |

*Nota.* Fuente Norma 170-2008 ASHRAE. Muestra la variación de las condiciones de confort conforme las normas se actualizaron desde 1971 hasta 2010.

**Figura 2**

*Disposición típica de un quirófano.*




*Nota.* Fuente Norma 170-2008 ASHRAE.

### *2.1.3 Ventilación y calidad de Aire*

La calidad del aire es vital para evitar contagios y garantizar ambientes saludables. "Las instalaciones de salud requieren grandes cantidades de aire exterior fresco, limpio para los ocupantes y para control de contaminantes y olores" (ASHRAE, 2013, p. 9). Las tasas de ventilación varían según el tipo de ambiente hospitalario:

**Tabla 2**

*Ventilación por Ambientes*

| Espacio | T, °F | T, °C | RH, % | Presión | OA | ACH |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Sala operaciones clase B y C | 68 a 75 | 20 a 24 | 30 a 60 | Positivo | 4 | 20 |
| Salas de operaciones/cirugías cistoscopias | 68 a 75 | 20 a 24 | 30 a 60 | Positivo | 4 | 20 |
| Salas de Parto (Cesáreas) | 68 a 75 | 20 a 24 | 30 a 60 | Positivo | 4 | 20 |
| Cuidados Intensivos y críticos | 70 a 75 | 21 a 24 | 30 a 60 | Positivo | 2 | 6 |
| Cuidados intensivos de heridas (unidad quemados) | 70 a 75 | 21 a 24 | 40 a 60 | Positivo | 2 | 6 |
| Sala de espera de radiología | 70 a 75 | 21 a 24 | Max 60 | Negativo | 2 | 12 |
| Sala quirófano/procedimiento Clase A | 70 a 75 | 21 a 24 | 20 a 60 | Positivo | 3 | 15 |
| Rayos X (cirugía/cuidados críticos) | 70 a 75 | 21 a 24 | Max 60 | Positivo | 3 | 15 |
| Sala de equipo de esterilización | — | — | — | Negativo | — | 10 |
| Sucio y descontaminación | 72 a 78 | 22 a 26 | — | Negativo | 2 | 6 |
| Almacenamiento estéril | 72 a 78 | 22 a 26 | Max 60 | Positivo | 2 | 4 |

*Nota.* Fuente Norma 170-2008 ASHRAE.

Tal como se indica, los microorganismos pueden permanecer en una habitación durante aproximadamente 14 minutos si se cuenta con 20 cambios de aire por hora (ACH, por sus siglas en inglés), y hasta 28 minutos cuando la tasa es de 10 ACH. Este principio de

dilución y sustitución del aire contaminado por aire limpio constituye la base de los valores de ACH establecidos en la tabla de ventilación de la Norma 170 de ANSI/ASHRAE/ASHE, como se ilustra en la Tabla 2.

**2.1.3.1 Filtración de Aire.** La filtración es clave en el control de infecciones. Se requiere filtración mínima MERV 14 en la mayoría de las áreas hospitalarias y filtros HEPA (MERV 17) en espacios críticos.

Los filtros con una eficiencia mínima... MERV 14 ó más alto... son muy efectivos para remover microorganismos y partículas de tamaño similar (ASHRAE, 2013, p.

La normativa ASHRAE 52.2-2007 regula cómo se mide la eficiencia de los filtros en base al tamaño de las partículas. En salas estériles, se recomienda usar HEPA incluso con pre-filtros MERV 7.

- MERV Eficiencia de un filtro para atrapar partículas de distintos tamaños
- HEPA Filtro de aire de partículas de Alta eficiencia para atrapar partículas de hasta 99.97 y partículas de hasta 3 micrómetros

**Tabla 3**

*Eficiencia de filtros (MERV) y eficiencia por tamaño de partículas.*

| MERV | 0.3–1.0 µm | 1.0–3.0 µm | 3.0–10 µm |
|---|---|---|---|
| Categoría E-3 | | | |
| 6 | — | — | 35 a 50% |
| 7 | — | — | 50 a 70% |
| 8 | — | — | 70 a 85% |
| 9 | — | — | 85% + |
| Categoría E-2 | | | |
| 10 | — | 60 a 65% | 85% + |
| 11 | — | 65 a 80% | 85% + |
| 12 | — | 80% + | 85% + |
| Categoría E-1 | | | |
| 13 | < 75% | 90% + | 99% + |
| 14 | 75 a 85% | 90% + | 99% + |
| 15 | 85 a 95% | 90% + | 99% + |
| 17 | 99,99% | 99,99% | 99,99% |

*Nota.* Adaptado de Manual de diseño de calefacción, ventilación y aire acondicionado para hospitales y clínicas (2.ª ed.). Asociación Técnica Ecuatoriana de Aire Acondicionado y Refrigeración (ATEAAR), ASHRAE.

La normas ASHARE ya establece el tipo de filtros para ambientes mostrados en la siguiente tabla

**Tabla 4**

*Tipo de Filtros por ambientes.*

| Designación de Espacio (de acuerdo con la Función) | Banco de Filtro #1, MERVa | Banco de Filtro #2, MERVa |
|---|---|---|
| Cirugías clases B y C; diagnóstico hospitalario, ambulatorio y radiología terapéutica; espacios de recuperación y parto de pacientes hospitalizados. | 7 | 14 |
| Cuidado de pacientes hospitalizados, tratamiento y diagnóstico, y aquellos espacios que proveen servicio directo o suministros limpios y procesos de limpieza (excepto como Nota. Do abajo; Todos (salas). | 7 | 14 |
| Salas de ambientes protectores (PE) | 7 | 17 (HEPA)c |
| Laboratorios; Cirugía Clase A y espacios semi restringidos asociados | 13b | N/Rd |
| Administrativo; almacenaje al granel, espacios de mantenimiento sucios; espacios para preparación de comida; y lavanderías | 7 | N/R |
| Todos los otros espacios de pacientes ambulatorios | 7 | N/R |
| Centros para enfermeras especializadas | 7 | N/R |

*Nota.* Adaptado de Manual de diseño de calefacción, ventilación y aire acondicionado para hospitales y clínicas (2.ª ed.). Asociación Técnica Ecuatoriana de Aire Acondicionado y Refrigeración (ATEAAR), ASHRAE.

### *2.1.4 Presurización y contención*

La presurización diferencial permite controlar el flujo de aire entre espacios, reduciendo así el riesgo de contaminación cruzada. Es una herramienta indispensable en ambientes donde se trata con agentes infecciosos o se requiere esterilidad.

**2.1.4.1 Principios de presurización.** El principio básico consiste en mantener una presión positiva o negativa en relación con espacios adyacentes:

Presión positiva: usada en quirófanos, salas blancas, farmacias. Impide que entren contaminantes del exterior, Figura 2 muestra un ejemplo, para logar esta presión se debe tener una diferencia entre el flujo de entrada de aire y salida de 350 cfm o el 30% de flujo de suministro, es decir para el caso de la sala de cirugía típica tenemos una entrada de aire de 2200cmf y una salida de aire de 925cfm a cada lado, además de la instrumentación que mida la diferencia de presión entre los ambientes, llamado dP.

Presión negativa: usada en salas de aislamiento o laboratorios. Evita que el aire contaminado escape, para lograr esto el flujo de aire de entrada debe ser menor al de salida de esta forma creamos una presión de succión o negativa en el ambiente, impidiendo salida de patógenos u organismo.

### *2.1.5 Cargas térmicas en ambientes hospitalarios*

El cálculo de cargas de enfriamiento en hospitales es uno de los procesos más complejos dentro del diseño HVAC debido a la naturaleza crítica de sus espacios, los requisitos de ventilación elevados y las ganancias internas propias de equipos médicos y ocupación intensiva. El diseño debe garantizar el confort térmico, la eficiencia energética y la seguridad de los pacientes, incluso bajo condiciones ambientales extremas.

Los estimados de pico de carga de enfriamiento para instalaciones de cuidado de salud debe tener en cuenta variables que incluyen condiciones de tiempo, envolvente del edificio, ganancia de calor interno, ventilación, recalentamiento, proceso de enfriamiento y a menor extensión, infiltración

**2.1.5.1 Cargas sensibles y latentes.** Carga Sensible. Es el calor que aumenta la temperatura del aire. Proviene de luces, personas, equipos, radiación solar.

Carga Latente. Es el calor asociado al contenido de humedad en el aire, importante para el control de la humedad relativa.

La carga máxima puede ocurrir en condiciones de pico de bulbo húmedo, por esta razón, y para dimensionamiento de equipo evaporativo y deshumidificación, se recomienda considerar las condiciones climáticas de carga pico total (latente más sensible)

**2.1.5.2 Cargas de recalentamiento.** En muchas áreas hospitalarias, especialmente aquellas con requerimientos estrictos de ventilación, se presentan cargas de recalentamiento, es decir, el aire debe ser recalentado después de haber sido deshumidificado para mantener el confort sin comprometer la humedad relativa.

La mayoría de las instalaciones de cuidado de salud tiene una carga de recalentamiento durante la estación de enfriamiento, espacios que a menudo contribuyen a recalentar la carga incluyen espacios interiores con cargas internas bajas y requisitos de cambio de aire mínimos, esto ocurre en zonas como quirófanos, unidades de aislamiento, y laboratorios.

**2.1.5.3 Cargas de procesos especiales.** Además de las cargas térmicas típicas, los hospitales tienen cargas de proceso propias de equipos como:

Tomógrafos y resonadores magnéticos (MRI)

Equipos de laboratorio

Sistemas de refrigeración médica

Áreas de cocina hospitalaria.

Según ASHRAE. (2013), las instalaciones de cuidado de salud pueden también tener cargas de proceso, como equipos de cocina, refrigeración y equipos de imágenes, que contribuyen al pico de la carga de refrigeración

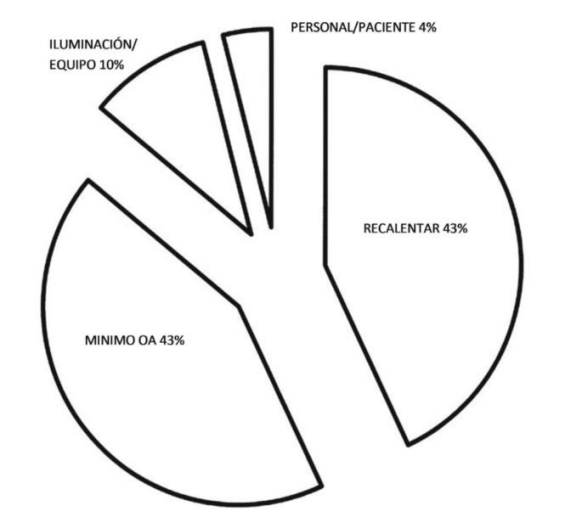
Una estimación típica en ambientes hospitalarios se muestra en la siguientes figura, siendo las cargas predominantes la carga por aire exterior suministrado y el recalentamiento

para recuperar la humedad, esto puedo variar de acuerdo con el ambiente y las personas, además de los equipos.

En la tabla 8-6 de la norma ASHRAE, se representa algunas cargas térmicas por equipos hospitalarios tipos, adjuntado al documento como anexo.

**Figura 3**

*Fuentes de cargas de enfriamiento en el Quirófano.*




*Nota.* Adaptado de Manual de diseño de calefacción, ventilación y aire acondicionado para hospitales y clínicas (2.ª ed.). Asociación Técnica Ecuatoriana de Aire Acondicionado y Refrigeración (ATEAAR), ASHRAE.

## 2.2 Normativas de Diseño Hospitalario

Resumen de normas nacionales (MINSA, RNE) e internacionales (ASHRAE 170, NFPA 90A/99, etc.) aplicables a HVAC hospitalario.

## 2.3 Tecnologías de Aire Acondicionado

Descripción de sistemas posibles (sistemas centrales con chiller/air handler, sistemas divididos, etc.) y criterios de selección para hospitales; importancia de redundancia y control.

## 2.4 Seguridad en Instalaciones HVAC

Medidas contra incendio (dampers, detectores), planes de mantenimiento, consideraciones de ruido y vibraciones en entornos hospitalarios.

## 2.5 Métodos de cálculo de cargas térmicas de calefacción y calentamiento.

El cálculo de cargas térmicas es una etapa fundamental en el diseño de sistemas HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning), pues determina la potencia necesaria para acondicionar térmicamente un espacio según condiciones exteriores, ocupación y características constructivas. Este proceso es clave en edificios complejos como hospitales, donde se deben garantizar condiciones térmicas precisas para la salud y seguridad de pacientes, equipos médicos y personal.

### *2.5.1 Definición de carga térmica*

Según ASHRAE (2017), la carga térmica se define como la cantidad de energía que debe agregarse o eliminarse de un espacio para mantener las condiciones de temperatura, humedad y calidad del aire deseadas. Se distinguen dos tipos principales:

- Carga de enfriamiento: energía que debe retirarse del espacio para mantener la temperatura bajo control durante condiciones cálidas.
- Carga de calefacción: energía que debe agregarse al espacio durante condiciones frías para alcanzar la temperatura de confort.

Estas cargas se calculan generalmente en vatios (W) o toneladas de refrigeración (TR), considerando múltiples fuentes de ganancia o pérdida térmica.

“La carga térmica total es el resultado de la suma de todas las ganancias o pérdidas de calor por conducción, radiación, convección, infiltración, equipos y personas” (ASHRAE, 2017, p. 18.1).

### *2.5.2 Método de Ganancias Térmicas (CLTD)*

Es uno de los métodos más tradicionales, en inglés “cooling load temperatura difference”. Calcula las ganancias térmicas hora a hora considerando:

- Transmisión por envolvente (muros, techos, pisos)
- Radiación solar a través de ventanas
- Infiltraciones de aire
- Equipos eléctricos y médicos
- Ocupación (metabolismo humano)
- Iluminación artificial

El método CLTD usa tablas estandarizadas que incorporan factores como orientación solar, tipo de vidrio, sombreamiento y masa térmica.

“El método CLTD es práctico para cálculos manuales y estimaciones rápidas, y ha sido ampliamente utilizado por ingenieros HVAC desde los años 60” (McQuiston, Parker & Spitler, 2005, p. 231).

Este método es usado por uno de los software comerciales, como Elite Software Chvac.

### *2.5.3 Método de Transferencia de Calor por Hora (HB)*

Es el método oficial recomendado por ASHRAE. Se basa en el equilibrio energético entre las cargas internas y externas de un espacio, en inglés Heat Balance Method, considerando cada modo de transferencia de calor (conducción, convección, radiación). Requiere modelado horario y detallado del edificio.

Es más preciso que el CLTD y es la base de simuladores como EnergyPlus, TRACE 700 y HAP.

“El método de balance térmico es el enfoque más riguroso y físicamente completo para determinar las cargas de enfriamiento hora a hora” (ASHRAE, 2017, p. 18.2).

### *2.5.4 Método Radiación/Split (Radiant Time Series – RTS)*

Este método es una evolución del HB, más simplificado, desarrollado por ASHRAE para su aplicación en herramientas de cálculo computacional. Separa las ganancias térmicas en componentes por radiación y convección y aplica una serie temporal ponderada para estimar la carga térmica en función del tiempo.

Es útil para simulaciones horarias en sistemas con cargas variables y ha sido adoptado por softwares como Carrier HAP y Trane Trace.

### *2.5.5 Simulación energética computacional (Dynamic Simulation)*

Los programas de simulación energética permiten un análisis más completo y dinámico del comportamiento térmico del edificio. Modelan la envolvente, sistemas HVAC, patrones de uso, y condiciones climáticas horarias. Herramientas como:

- EnergyPlus (DOE)
- DesignBuilder
- IES VE
- HAP
- Revit Systems + Insight

Permiten calcular las cargas de calefacción y enfriamiento hora a hora, e incluso considerar la interacción entre zonas adyacentes, masas térmicas, y variaciones en la ventilación.

"La simulación dinámica permite integrar el comportamiento térmico del edificio con el sistema HVAC para optimizar la eficiencia energética" (CIBSE, 2015, p. 74).

***2.5.6 Fundamentos del método CLTD.*** El método CLTD calcula la **carga sensible de enfriamiento** provocada por:

- Ganancias por **conducción** a través de muros, techos, pisos (por diferencia de temperatura).

- Ganancias por **radiación solar** a través de ventanas.
- Cargas internas: personas, iluminación, equipos.
- Cargas por **ventilación e infiltración** de aire caliente exterior.

Estas cargas se estiman usando fórmulas simples que incluyen:

- **CLTD (Cooling Load Temperature Difference)**: diferencia de temperatura equivalente que toma en cuenta radiación solar, conducción y acumulación térmicas.
- **SCL (Solar Cooling Load)**: contribución específica de la radiación solar directa y difusa a través del vidrio.
- **CLF (Cooling Load Factor)**: factores que ajustan la carga por personas, luces y equipos según el perfil horario.

**2.5.6.1 Factor de superficie opaca.** El factor de superficie opaca integra en un solo coeficiente la transmisión de calor por conducción y los efectos dinámicos de la radiación solar y la inercia térmica del cerramiento. Esta formulación es consistente con los métodos de cálculo de cargas de enfriamiento para superficies opacas del ASHRAE Handbook – Fundamentals (ASHRAE, 2017, cap. de cargas de espacio).

$$\mathrm{CF_{opq}} = \mathrm{U} \cdot OF_t \cdot \Delta T_1 + \mathrm{O}F_b \cdot OF_r \cdot D\mathrm{R} \qquad \text{(Ec. 1)}$$

Donde:

| | | |
|---|---|---|
| $(\mathrm{CF_{opq}})$ | Factor de carga de enfriamiento de superficie opaca | $[W/m^2]$ |
| $(U)$ | Coeficiente global de transferencia de calor del cerramiento | $[W/(m^2 \cdot K)]$ |
| $(OF_t)$ | Factor de enfriamiento transmisivo de la superficie opaca | $[-]$ |
| $(\Delta T_1)$ | Diferencia de temperatura efectiva a través del cerramiento | $[K]$ |
| $(OF_b)$ | Coeficiente auxiliar de base de temperatura | $[K]$ |

$(OF_r)$ Factor radiativo o de corrección de la superficie opaca $[-]$

$(DR)$ Diferencia de temperatura media de referencia $[K]$

**2.5.6.2 Ganancia de calor por superficie opaca.** La ganancia de calor sensible a través de la pared se obtiene multiplicando el factor de superficie opaca por el área expuesta. Esta expresión representa la potencia térmica que debe ser retirada por el sistema de climatización para compensar el aporte de dicha superficie (ASHRAE, 2017).

Personas:

$$Q_{\text{opq}} = \text{A} \cdot CF_{\text{opq}} \qquad \text{(Ec. 2)}$$

Donde:

$(Q_{\text{opq}})$ Ganancia de calor por la pared opaca expuesta $[W]$

$(A)$ Área de la superficie opaca expuesta al sol $[m^2]$

$(CF_{\text{opq}})$ Factor de carga de enfriamiento de superficie opaca $[W/m^2]$

**2.5.6.3 Ganancia de calor por alumbrado.** La carga por iluminación se evalúa a partir de la densidad de potencia de iluminación y el área del recinto. ASHRAE y la norma ASHRAE/IES 90.1 proporcionan valores de referencia de densidades de potencia para distintos tipos de edificios y usos (ASHRAE, 2016; ASHRAE/IES, 2019).

$$Q_{\text{luz}} = D_L \cdot A_L \qquad \text{(Ec. 3)}$$

Donde:

$(Q_{\text{luz}})$ Ganancia de calor por alumbrado $[W]$

$(D_L)$ Densidad de potencia de iluminación $[W/m^2]$

$(A_L)$ Área de piso iluminada en la sala de operaciones $[m^2]$

**2.5.6.4 Ganancia de calor sensible por personas.** El calor sensible emitido por los ocupantes se deriva del metabolismo humano y depende del nivel de actividad. ASHRAE presenta tablas de cargas sensibles y latentes por persona para distintos tipos de ocupación, que se utilizan en los cálculos de cargas internas (ASHRAE, 2017; Energy-Models, 2023).

$$Q_{\text{persona}} = \text{N} \cdot q_{\text{s,persona}} \qquad \text{(Ec. 4)}$$

Donde:

| | | |
|---|---|---|
| $Q_{\text{persona}}$ | Ganancia de calor sensible por ocupantes | $[W]$ |
| N | Número de personas en la sala | [persona] |
| $q_{\text{s,persona}}$ | Calor sensible emitido por cada persona | $[W/\text{persona}]$ |

**2.5.6.5 Ganancia de calor por equipos médicos.** Los equipos médicos se tratan como cargas internas cuya potencia se aproxima por la potencia eléctrica instalada y un factor de utilización. El *ASHRAE Handbook – Fundamentals* incluye tablas orientativas de cargas por equipos de procesos y de uso general (ASHRAE, 2017; ASHRAE, 2001).

$$Q_{\text{equipos}} = \sum_{i=1}^{n} P_i \cdot f_{u,i} \qquad \text{(Ec. 5)}$$

Donde:

| | | |
|---|---|---|
| $Q_{\text{equipos}}$ | Ganancia de calor sensible por equipos médicos | $[W]$ |
| $P_i$ | Potencia eléctrica nominal del equipo (i) | $[W]$ |
| $f_{u,i}$ | Factor de utilización del equipo (i) | $[-]$ |
| n | Número de equipos considerados | $[-]$ |

**2.5.6.6 Calor sensible subtotal de recinto con factor de seguridad.** La carga sensible de recinto se obtiene sumando la contribución de la envolvente y de las cargas internas. Es frecuente aplicar un factor de seguridad para cubrir incertidumbres en el uso real del espacio (ASHRAE, 2017; Bhatia, 2013).

$$Q_S = f_s \cdot Q_{\text{opq}} + Q_{\text{luz}} + Q_{\text{persona}} + Q_{\text{equipos}} \qquad \text{(Ec. 6)}$$

Donde:

| | | |
|---|---|---|
| $Q_S$ | Calor sensible total del recinto (sin aire exterior) | $[W]$ |
| f_s) | Factor de seguridad aplicado al cerramiento o al subtotal | $[-]$ |
| $Q_{\text{opq}}$ | Ganancia sensible por superficie opaca | $[W]$ |

| | | |
|---|---|---|
| $Q_{\text{luz}}$ | Ganancia sensible por alumbrado | $[W]$ |
| $Q_{\text{persona}}$ | Ganancia sensible por personas | $[W]$ |
| $Q_{\text{equipos}}$ | Ganancia sensible por equipos médicos | $[W]$ |

**2.5.6.7 Caudal de aire de suministro por carga sensible.** El caudal de aire de suministro se determina a partir del balance de energía entre la carga sensible de la sala y la capacidad del aire para transportar calor, según la primera ley de la termodinámica aplicada a volúmenes de control (ASHRAE, 2017).

$$\dot{V} = \frac{Q_S}{\rho \cdot C_p \cdot \Delta T_2} \quad \text{(Ec. 7)}$$

Donde:

| | | |
|---|---|---|
| $\dot{V}$ | Caudal volumétrico de aire de suministro | $[m^3/s]$ |
| $Q_S$ | Calor sensible total del recinto | $[W]$ |
| $\rho$ | Densidad del aire seco | $[kg/m^3]$ |
| $C_p$ | Calor específico del aire a presión constante | $[J/(kg \cdot K)]$ |
| $\Delta T_2$ | Diferencia de temperatura entre aire de sala y aire de suministro | $[K]$ |

**2.5.6.8 Calor latente por personas.** El calor latente generado por los ocupantes se asocia a la evaporación de sudor y al vapor de agua exhalado. ASHRAE proporciona valores de calor latente por persona según nivel de actividad, que se utilizan en el dimensionamiento de la deshumidificación (ASHRAE, 2017; ASHRAE, 2014).

$$Q_{LP} = \mathrm{N} \cdot q_{\text{L,persona}} \quad \text{(Ec. 8)}$$

$$Q_L = f_s \cdot Q_{LP} \quad \text{(Ec. 9)}$$

Donde:

| | | |
|---|---|---|
| $Q_{LP}$ | Calor latente debido a las personas (sin margen) | $[W]$ |
| $Q_L$ | Calor latente total corregido por personas | $[W]$ |
| N | Número de personas en la sala | [persona] |

| | | |
|---|---|---|
| $q_{\text{L,persona}}$ | Calor latente emitido por cada persona | $[W/\text{persona}]$ |
| $f_s$ | Factor de seguridad aplicado al calor latente | $[-]$ |

**2.5.6.9 Calor sensible del aire exterior.** El aire exterior necesario para ventilación y control de infecciones introduce una carga sensible adicional, que se calcula considerando la diferencia de temperatura entre condiciones exteriores e interiores y la variación de densidad del aire con la altura (ASHRAE, 2017; ASHRAE, 2017 Standard 170).

$$Q_{SA} = \text{PR} \cdot \rho \cdot C_p \cdot \dot{V} \cdot \Delta T_4 \qquad \text{(Ec. 10)}$$

Donde:

| | | |
|---|---|---|
| $Q_{SA}$ | Calor sensible del aire exterior de ventilación | $[W]$ |
| PR | Factor de presión corregido por altura | $[-]$ |
| $\rho$ | Densidad del aire seco | $[kg/m^3]$ |
| $C_p$ | Calor específico del aire a presión constante | $[J/(kg \cdot K)]$ |
| $\dot{V}$ | Caudal volumétrico de aire exterior | $[m^3/s]$ |
| $\Delta T_4$ | Diferencia de temperatura entre aire exterior e interior | $[K]$ |

**2.5.6.10 Calor latente total del aire exterior.** El calor latente del aire exterior se evalúa a partir de la diferencia de contenido de humedad entre el aire de entrada y el aire de suministro, multiplicada por el caudal másico de aire y el calor latente de vaporización del agua. Esta formulación es coherente con los balances de masa y energía de la psicrometría clásica (ASHRAE, 2017).

$$Q_{LT} = \text{PR} \cdot \rho \cdot h_{fg} \cdot \dot{V} \cdot \left(\text{gram}_1 - \text{gram}_2\right) \qquad \text{(Ec. 11)}$$

Donde:

| **Símbolo** | **Descripción** | **Unidad** |
|---|---|---|
| $Q_{LT}$ | Calor latente total asociado al aire exterior | [W]) $o$ ($[kW]$ |
| PR | Factor de presión corregido por altura | $[-]$ |

| | | |
|---|---|---|
| ρ | Densidad del aire seco | $[kg/m^3]$ |
| $h_{fg}$ | Calor latente de vaporización del agua | $[kJ/kg]$ |
| $\dot{V}$ | Caudal volumétrico de aire exterior | $[m^3/s]$ |
| $\text{gram}_1$ | Contenido de humedad del aire a la entrada | $[g$ $/kg$ de ire eco] |
| $\text{gram}_2$ | Contenido de humedad del aire a la salida | $[g$ $/kg$ de ire eco] |

**2.5.6.11 Calor sensible total.** El calor sensible total combina la carga del recinto y la asociada al aire exterior, y representa la potencia que debe extraerse mediante el serpentín de enfriamiento para controlar la temperatura de la sala ASHRAE, 2017

$$Q_{ST} = Q_S + Q_{SA} \quad \text{(Ec. 12)}$$

Donde:

| | | |
|---|---|---|
| $\boldsymbol{Q_{ST}}$ | Calor sensible total del sistema | $[\boldsymbol{W}]$ |
| $\boldsymbol{Q_S}$ | Calor sensible del recinto | $[W]$ |
| $\boldsymbol{Q_{SA}}$ | Calor sensible del aire exterior | $[W]$ |

**2.5.6.12 Calor total del sistema.** El calor total para manejar por el sistema HVAC es la suma de las componentes sensible y latente. Este valor se emplea para seleccionar la capacidad del equipo de frío y verificar el cumplimiento de las condiciones de confort e higiene (ASHRAE, 2017; Khankari, 2018).

$$\mathrm{Q_T} = \mathrm{Q_{ST}} + \mathrm{Q_{LT}} \quad \text{(Ec. 12)}$$

Donde:

| | | |
|---|---|---|
| $Q_T$ | Calor total que debe manejar el sistema HVAC | $[W]$ |
| $Q_{ST}$ | Calor sensible total | $[W]$ |
| $Q_{LT}$ | Calor latente total | $[W]$ |

**2.5.6.13 Calor latente del aire exterior (sin personas).** Separar la fracción de calor latente asociada al aire exterior permite distinguir la contribución de la ventilación de la

debida a la ocupación, lo cual es útil para el diseño de estrategias de deshumidificación y recuperación de energía (ASHRAE, 2017).

$$Q_{LA} = Q_{LT} - Q_{LP} \quad \text{(Ec. 14)}$$

Donde:

| | | |
|---|---|---|
| $Q_{LA}$ | Calor latente asociado únicamente al aire exterior | $[W]$ |
| $Q_{LT}$ | Calor latente total | $[W]$ |
| $Q_{LP}$ | Calor latente debido a las personas | $[W]$ |

En resumen, tenemos un resumen de las siguientes ecuaciones.

**Tabla 5**

*Resumen de ecuaciones*

| Ec. | Magnitud principal | Expresión resumida | Unidad del resultado |
|---|---|---|---|
| (1) | Factor de superficie opaca | $\left(CF_{\text{opq}} = U \cdot OF_t \cdot \Delta T_1 + OF_b \cdot OF_r \cdot DR\right)$ | $[W/m^2]$ |
| (2) | Ganancia de calor por superficie opaca | $Q_{\text{opq}} = A \cdot CF_{\text{opq}}$ | $[W]$ |
| (3) | Ganancia de calor por alumbrado | $Q_{\text{luz}} = D_L \cdot A_L$ | $[W]$ |
| (4) | Ganancia de calor sensible por personas | $Q_{\text{persona}} = N \cdot q_{\text{s,persona}}$ | $[W]$ |
| (5) | Ganancia de calor por equipos médicos | $Q_{\text{equipos}} = \sum_{i=1}^{n} P_i \cdot f_{u,i}$ | $[W]$ |
| (6) | Calor sensible total de recinto (sin aire exterior) | $Q_S = f_s \cdot Q_{\text{opq}} + Q_{\text{luz}} + Q_{\text{persona}} + Q_{\text{equipos}}$ | $[W]$ |
| (7) | Caudal de aire de suministro por carga sensible | $\dot{V} = \frac{Q_S}{\rho \cdot C_p \cdot \Delta T_2}$ | $[m^3/s]$ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| (8) | Calor latente por personas (sin margen) | $Q_{LP} = N \cdot q_{\mathrm{L,persona}}$ | $[W]$ |
| (9) | Calor latente total por personas (con factor de seguridad) | $Q_L = f_s \cdot Q_{LP}$ | $[W]$ |
| (10) | Calor sensible del aire exterior | $Q_{SA} = PR \cdot \rho \cdot C_p \cdot \dot{V} \cdot \Delta T_4$ | $[W]$ |
| (11) | Calor latente total del aire exterior | $Q_{LT} = PR \cdot \rho \cdot h_{fg} \cdot \dot{V} \cdot (\mathrm{gram}_1 - \mathrm{gram}_2)$ | $[W]$ |
| (12) | Calor sensible total del sistema | $Q_{ST} = Q_S + Q_{SA}$ | $[W]$ |
| (13) | Calor total del sistema HVAC | $Q_T = Q_{ST} + Q_{LT}$ | $[W]$ |
| (14) | Calor latente del aire exterior (sin componente de personas) | $Q_{LA} = Q_{LT} - Q_{LP}$ | $[W]$ |

**Nota. Elaboración propia.**

## 2.6 Métodos de cálculos de Ductos.

El cálculo de ductos busca determinar el tamaño óptimo de los conductos (sección transversal), de modo que el aire fluya a una velocidad controlada, con pérdidas de presión aceptables, mínimo ruido y consumo energético reducido en ventiladores.

Según ASHRAE (2017), los principales factores a considerar en el diseño de ductos son:

- Caudal de aire requerido (cfm o L/s).
- Velocidad del aire (m/s o ft/min).
- Pérdidas por fricción (Pa/m o in.wg/100 ft).
- Codos, transiciones y accesorios (pérdidas localizadas).
- Nivel de ruido y vibración admisible.

- Altura disponible para instalar los ductos.
- Presiones diferenciales requeridas (quirófanos, salas limpias).

El objetivo final es lograr una distribución de aire eficiente, silenciosa y balanceada, minimizando el consumo de los ventiladores y cumpliendo las condiciones de diseño para cada zona.

### *2.6.1 Métodos existentes para el cálculo de ductos*

ASHRAE reconoce tres métodos principales para el dimensionamiento de ductos:

**2.6.1.1 Método de fricción constante (Equal Friction Method).** Es el método más utilizado por su simplicidad y eficiencia. Se selecciona un valor constante de pérdida por fricción (por ejemplo, 0.1 in.wg/100 ft o 1 Pa/m) para toda la red, y se calcula el diámetro del ducto que permite transportar el caudal deseado con esa pérdida. Es adecuado para sistemas con rutas relativamente balanceadas. “El método de fricción constante permite diseñar ductos de forma rápida y uniforme, con un compromiso aceptable entre eficiencia y economía” (McQuiston et al., 2005, p. 311).

**2.6.1.2 Método de igual presión total (Static Regain Method).** Este método busca mantener una presión total constante entre ramales, maximizando el aprovechamiento de la energía cinética. Es más complejo, pero ideal para sistemas de gran tamaño con múltiples ramificaciones. Se utiliza en sistemas VAV (Volumen de Aire Variable) o de alta eficiencia.

**2.6.1.3 Método de velocidad constante (Velocity Method).** Este método establece una velocidad constante del aire para todos los ductos, dimensionando las secciones transversales en función de esta velocidad. Aunque simple, puede no ser eficiente energéticamente si no se controla la fricción. Procedimiento del cálculo de ductos por el método de fricción constante

Este método se basa en el uso de gráficas de diseño como la tabla de ASHRAE o la carta de Fricción de Ductos (Duct Friction Chart), que relacionan:

- Caudal de aire (cfm o L/s).
- Diámetro del ducto (en pulgadas o mm).
- Pérdida por fricción (Pa/m o in.wg/100 ft).
- Velocidad del aire (m/s o ft/min).

Pasos del procedimiento:

- Definir caudales por zona. Se determinan los caudales requeridos por cada ambiente, por ejemplo, 800 L/s para un quirófano, 600 L/s para una UCI, etc.
- Seleccionar valor de fricción constante. ASHRAE recomienda valores entre 0.08 y 0.2 in.wg/100 ft (o 0.8–2 Pa/m) según aplicación. En hospitales, valores bajos (≈ 1 Pa/m) se prefieren para reducir ruido y pérdidas.
- Calcular diámetro del ducto principal. Usando la tabla de fricción o software, se obtiene el diámetro que cumple con el caudal y fricción deseada.
- Calcular velocidad del aire. Verificar que la velocidad resultante esté dentro de los rangos sugeridos por ASHRAE:
- FACP (Panel de Control de Alarma): Control central que recibe señales (detectores/botones), ejecuta la lógica y ordena avisadores.

| Aplicación | Velocidad recomendada |
|---|---|
| Ducto principal | 6–10 m/s |
| Ramales a salas | 4–6 m/s |
| Rejillas de retorno | 2.5–4 m/s |

- **Dimensionar ramales secundarios**. Se repite el procedimiento para cada ramal usando el mismo criterio de fricción constante.
- **Estimar pérdidas locales**. Sumar pérdidas por codos, transiciones, rejillas, etc., utilizando coeficientes K y fórmulas:

$$\Delta P = K \cdot \frac{\rho V^2}{2} \qquad \text{Ec-15}$$

Donde:

| | | |
|---|---|---|
| $\Delta P$ | Pérdida de presión localizada debida a un accesorio | $[Pa] o [in.wg]$ |
| $K$ | Coeficiente de pérdida adimensional del accesorio | $[-]$ |
| ρ | Densidad del aire | $[kg/m^3]$ |
| $V$ | Velocidad media del aire en la sección donde se evalúa la pérdida | $[m/s]$ |

### *2.6.2 Procedimiento de cálculo para un ducto rectangular*

Con las ecuaciones anteriores se establece un procedimiento sistemático, empleado tanto de forma manual como en hojas de cálculo o software BIM:

**2.6.2.1 Determinación de la geometría y la velocidad.** Datos de entrada: anchura (W), altura (H), longitud (L), caudal (q) y rugosidad (ε) del material (por ejemplo, chapa galvanizada, ductos flexibles, etc.).

Calcular el área de la sección:

$$A_c = W \times H \qquad \text{Ec-16}$$

Calcular el perímetro mojado:

$$P = 2(W + H) \qquad \text{Ec-17}$$

Obtener el diámetro hidráulico:

$$D_h = \frac{4A_c}{P} \qquad \text{Ec-18}$$

Calcular la velocidad media:

$$V_m = \frac{q}{A_c} \qquad \text{Ec-19}$$

Donde:

| | | |
|---|---|---|
| $A_c$ | Área de la sección transversal del ducto | $[m^2]$ |
| $W$ | Anchura del ducto rectangular | $[m]$ |
| $H$ | Altura del ducto rectangular | $[m]$ |
| $P$ | Perímetro mojado (en contacto con el flujo de aire) | $[m]$ |

$D_h$ Diámetro hidráulico equivalente del ducto $[m]$

$q$ Caudal en el ducto $\left[\frac{m^3}{s}\right]$

$V_m$ Velocidad media $\left[\frac{m}{s}\right]$

La velocidad se utiliza para evaluar ruido, corrientes de aire y criterios de confort en salas, además de entrar en la ecuación de Darcy–Weisbach. En hospitales, ASHRAE y guías de diseño suelen recomendar rangos de velocidad moderados en ductos principales y menores en ramas terminales para reducir ruido y pérdidas energéticas.

**2.6.2.2 Cálculo del número de Reynolds y régimen.** Con las propiedades del aire, se calcula la viscosidad cinemática (ν).

Se calcula el número de Reynolds:

$$Re_h = \frac{D_h V_c}{\nu} \qquad \text{Ec-20}$$

Se determina el régimen de flujo en función de $(Re_h)$: laminar, transicional o turbulento, usando los límites ya indicados.

Donde:

$Re_h$ Número de Reynolds basado en el diámetro hidráulico $[-]$

$D_h$ Diámetro hidráulico del ducto $[m]$

$V_c$ Velocidad media del aire $[m/s]$

$\nu$ Viscosidad cinemática del aire $[m^2/s]$

**2.6.2.3 Obtención del factor de fricción.** Si el flujo es laminar $Re_h < 2000$, se aplica directamente:

$$f = \frac{64}{Re_h} \qquad \text{Ec-21}$$

Si el flujo es turbulento $Re_h \geq 4000$, se resuelve la ecuación de Colebrook–White:

$$\left[\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log_{10}\left(\frac{\varepsilon}{3.7D_h}\frac{2.51}{Re_{h\sqrt{f}}}\right)\right] \qquad \text{Ec-22}$$

Que expresa la dependencia de (f) respecto a la rugosidad relativa y al número de Reynolds.

En el rango transicional se suele interpolar entre los valores laminar y turbulento o elegir un valor conservador (más alto) que sobreestime ligeramente la pérdida de presión.

Donde:

| | | |
|---|---|---|
| $f$ | Factor de fricción de Darcy–Weisbach | $[-]$ |
| $Re_h$ | Número de Reynolds basado en el diámetro hidráulico | $[-]$ |
| ε | Rugosidad absoluta interna del ducto | $[m]$ |
| $D_h$ | Diámetro hidráulico del ducto | $[m]$ |

**2.6.2.4 Cálculo de la pérdida de presión.** Conocido el factor (f), se calcula la presión de velocidad:

$$P_v = \rho \frac{V_c^2}{2} \qquad \text{Ec-23}$$

Finalmente, se evalúa la pérdida de presión por fricción en el tramo:

$$\Delta P_f = f \frac{L}{D_h} P_v \qquad \text{Ec-24}$$

Si existen accesorios (codos, tees, reducciones), se suman las pérdidas locales $(\Delta P_j = c_j P_v)$, donde cada accesorio tiene un coeficiente $(c_j)$tabulado por ASHRAE. La pérdida total será:

$$\Delta P = \Delta P_f + \sum_j \Delta P_j \qquad \text{Ec-25}$$

Donde:

| | | |
|---|---|---|
| $\Delta P_j$ | Pérdida de presión local del accesorio (j) | $[Pa]$ |
| $c_j$ | Coeficiente de pérdida local del accesorio (j) | $[-]$ |
| $P_v$ | Presión de velocidad del flujo | $[Pa]$ |

| | | |
|---|---|---|
| $\Delta P$ | Pérdida de presión total en el tramo (fricción + locales) | $[Pa]$ |
| $\Delta P_f$ | Pérdida de presión por fricción en el tramo | $[Pa]$ |

Este valor se utiliza para dimensionar el ventilador y para verificar que la caída de presión total del sistema se mantiene dentro del criterio de diseño (por ejemplo, un cierto valor de Pa por cada 100 m de ducto en el método de igual fricción).

## 2.7 Metodología BIM aplicada a Hospitales

### *2.7.1 Origen y fundamentos de la metodología BIM*

Building Information Modeling (BIM), traducido como "Modelado de Información para la Construcción", es una metodología de trabajo colaborativo que integra la creación y gestión de representaciones digitales tridimensionales enriquecidas con información paramétrica a lo largo del ciclo de vida de una edificación o infraestructura (Eastman et al., 2011).

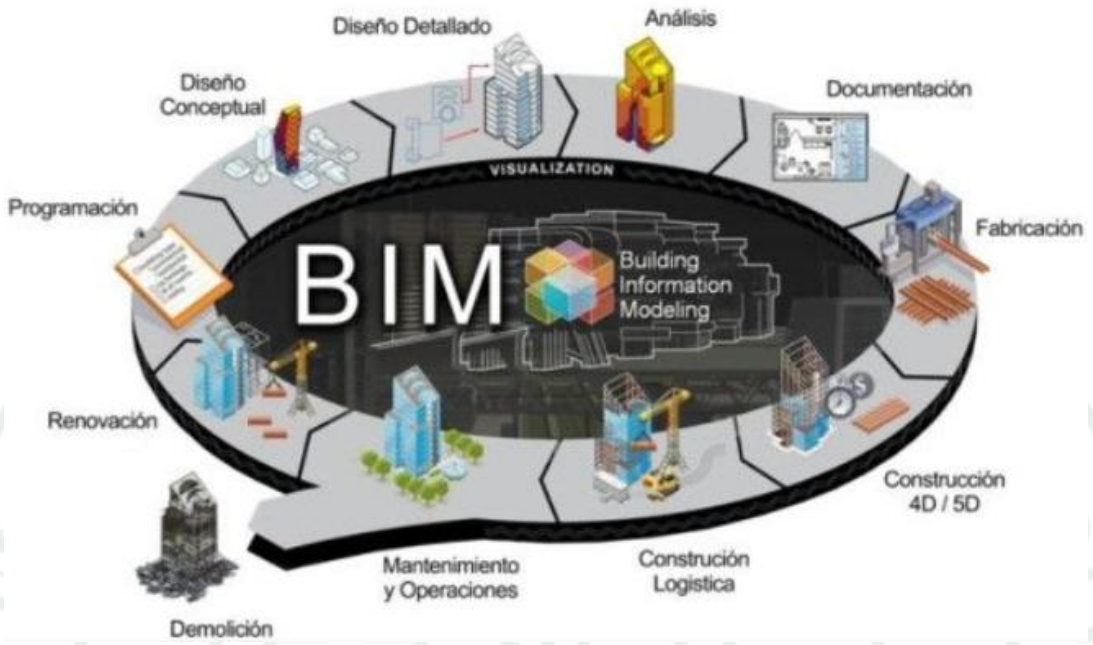
El concepto de BIM no es reciente. Sus fundamentos se remontan a la década de 1970, con las primeras investigaciones de Charles Eastman sobre "Building Description Systems". Sin embargo, no fue sino hasta la década del 2000 que la tecnología, software y procesos maduraron lo suficiente para ser adoptados de forma masiva por la industria AEC (Arquitectura, Ingeniería y Construcción).

BIM se diferencia del CAD tradicional porque no se limita a representar líneas o formas gráficas, sino que cada objeto modelado posee atributos reales: un ducto tiene diámetro, longitud, flujo de aire, fabricante; una pared tiene capas de materiales, conductividad térmica, resistencia al fuego, etc.

“BIM permite integrar la información geométrica, técnica, funcional y temporal de todos los elementos que componen una edificación” (Eastman et al., 2011, p. 15).

**Figura 4**

*Etapas o niveles de la metodología BIM*




*Nota.* Elaboración Propia.

### *2.7.2 Usos de BIM en la industria de la construcción*

La metodología BIM se aplica a lo largo del ciclo de vida del proyecto (ciclo de vida BIM), incluyendo:

- Diseño conceptual y detallado (BIM 3D): Modelos tridimensionales con información técnica de arquitectura, estructuras e instalaciones.
- Planificación de obra (BIM 4D): Vinculación del modelo con la programación de construcción.
- Estimación de costos (BIM 5D): Cómputos métricos automáticos y presupuestos vinculados.
- Evaluación de sostenibilidad (BIM 6D): Simulaciones energéticas, análisis de carbono, eficiencia.

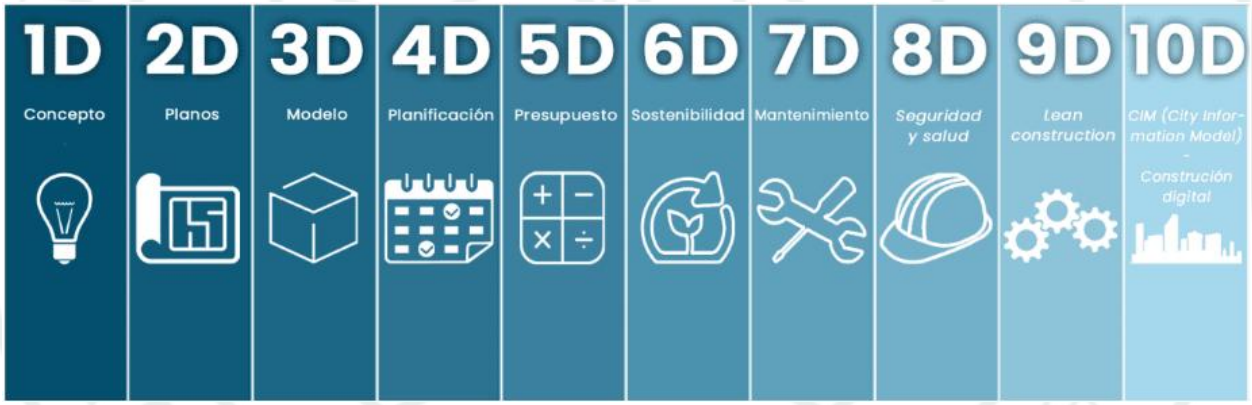
- Gestión de mantenimiento (BIM 7D): Información de mantenimiento, manuales, vida útil de equipos.

Según la norma ISO 19650, el uso de BIM está estructurado en entornos colaborativos que permiten compartir modelos en un entorno de datos común (Common Data Environment), garantizando la interoperabilidad entre disciplinas y softwares como Revit, ArchiCAD, Navisworks, Tekla, entre otros.

BIM ha sido adoptado obligatoriamente en países como Reino Unido, Noruega, Finlandia y Singapur, debido a sus beneficios en reducción de errores, ahorro de costos y mejora de eficiencia en obra (Volk et al., 2014).

**Figura 5**

*Dimensiones de la Metodología BIM*




*Nota.* Adaptado de Aplicación de la metodología BIM: sistemas de clasificación | KINENERGY.

### *2.7.3 Aplicación de BIM en hospitales*

Los hospitales representan uno de los tipos de infraestructura más complejos del sector construcción. Requieren una alta densidad de sistemas MEP (Mecánicos, Eléctricos y Sanitarios), normativas estrictas de seguridad, accesibilidad, higiene, continuidad operativa, y flexibilidad para futuras ampliaciones.

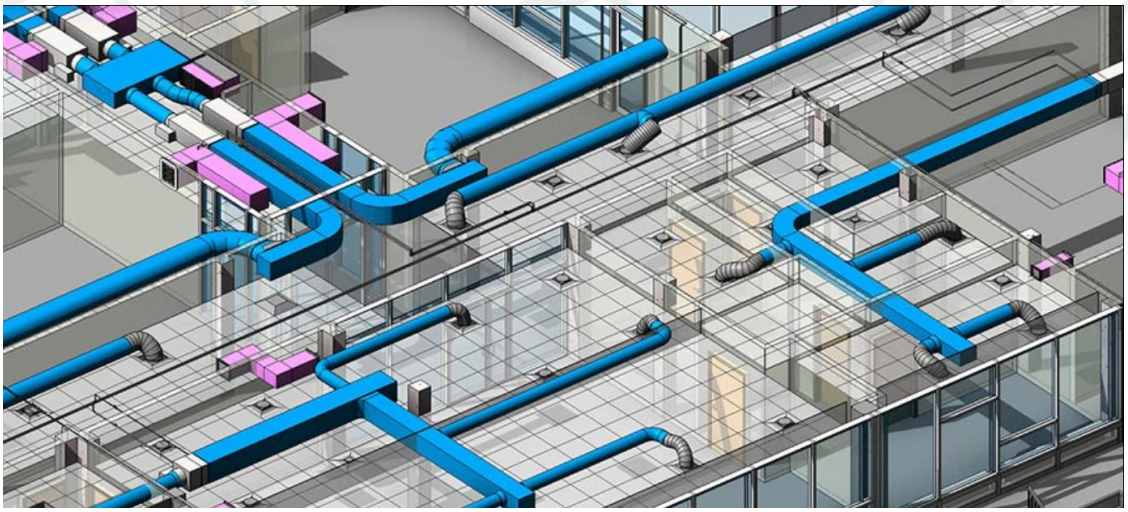
La metodología BIM permite gestionar esta complejidad de manera eficiente. Según Succar (2009), el uso de BIM en hospitales permite:

- Diseño basado en funciones clínicas: organización de espacios según flujos de trabajo médico.
- Coordinación de múltiples disciplinas: evitando interferencias entre instalaciones y arquitectura.
- Simulación del uso real: condiciones térmicas, iluminación, presión, circulación del personal.
- Planeamiento de mantenimiento y operación: especialmente crítico en hospitales que no pueden detener sus funciones.

Zanni et al. (2019) afirman que el diseño BIM centrado en el paciente también facilita la humanización del espacio, permitiendo evaluar visualizaciones desde el punto de vista de los usuarios, tanto pacientes como personal médico.

**Figura 6**

*Sistema de ductos HVAC modelado en Revit.*



*Nota.* Adaptado de Adaptado de Mechanical BIM services | HVAC BIM modeling (United-BIM Inc., 2019).

### *2.7.4 BIM en sistemas de climatización hospitalaria (HVAC)*

Los sistemas HVAC en hospitales son responsables de mantener la temperatura, humedad relativa, presión y calidad del aire en diferentes zonas, según requerimientos normativos y clínicos. Un quirófano, por ejemplo, puede requerir:

- Presión positiva respecto a pasillos.
- Filtración HEPA (99.97% eficiencia en partículas ≥ 0.3 μm).
- Temperatura entre 20–24 °C.
- 15 a 20 renovaciones de aire por hora (ACH).
- Control de humedad del 30 al 60%.

Con herramientas BIM es posible modelar estos requerimientos en cada espacio, asignar parámetros, vincularlos con los equipos HVAC, y realizar simulaciones mediante software energético. Además, se puede:

- Evaluar flujos de aire en 3D.
- Dimensionar ductos según caudal y velocidad.
- Integrar sensores de presión y temperatura.
- Planificar mantenimientos preventivos de filtros.

"BIM permite diseñar, verificar y mantener sistemas HVAC en edificios críticos como hospitales con un alto nivel de control y precisión" (ASHRAE, 2019, p. 11).

### *2.7.5 Coordinación BIM entre arquitectura, estructura y MEP*

Uno de los principios clave de BIM es la interoperabilidad multidisciplinaria. En un hospital, el diseño de los sistemas HVAC no puede realizarse de forma aislada; debe coordinarse con:

La estructura portante (vigas, losas, refuerzos).

La arquitectura (plenos, cielos rasos, acabados).

Las instalaciones eléctricas (tableros, bandejas, sensores).

Los sistemas de gases medicinales y sanitarios.

En un modelo federado BIM, todas estas disciplinas se integran, permitiendo detectar interferencias antes de la ejecución (clash detection). Por ejemplo, un ducto de 600×300 mm puede interferir con una viga o bandeja eléctrica, y el software indicará la colisión, proponiendo ajustes antes de llegar a obra.

La gestión de estas disciplinas se realiza mediante niveles de desarrollo (LOD). En HVAC, se espera:

- LOD 100–200: Diseño preliminar con rutas estimadas.
- LOD 300–350: Diseño detallado con dimensiones reales.
- LOD 400–500: Construcción y mantenimiento (as-built).

“La coordinación BIM es esencial para evitar retrasos y sobrecostos en obras hospitalarias, donde el espacio técnico es limitado y la funcionalidad crítica” (Volk et al., 2014, p. 111).

**Figura 7**

*Niveles de Lod en Ductos HVAC*




*Nota.* Adaptado de Guide pratique - Différencier les niveaux de détails (LOD) d'une maquette BIM.

## CAPÍTULO III: Ingeniería del Proyecto

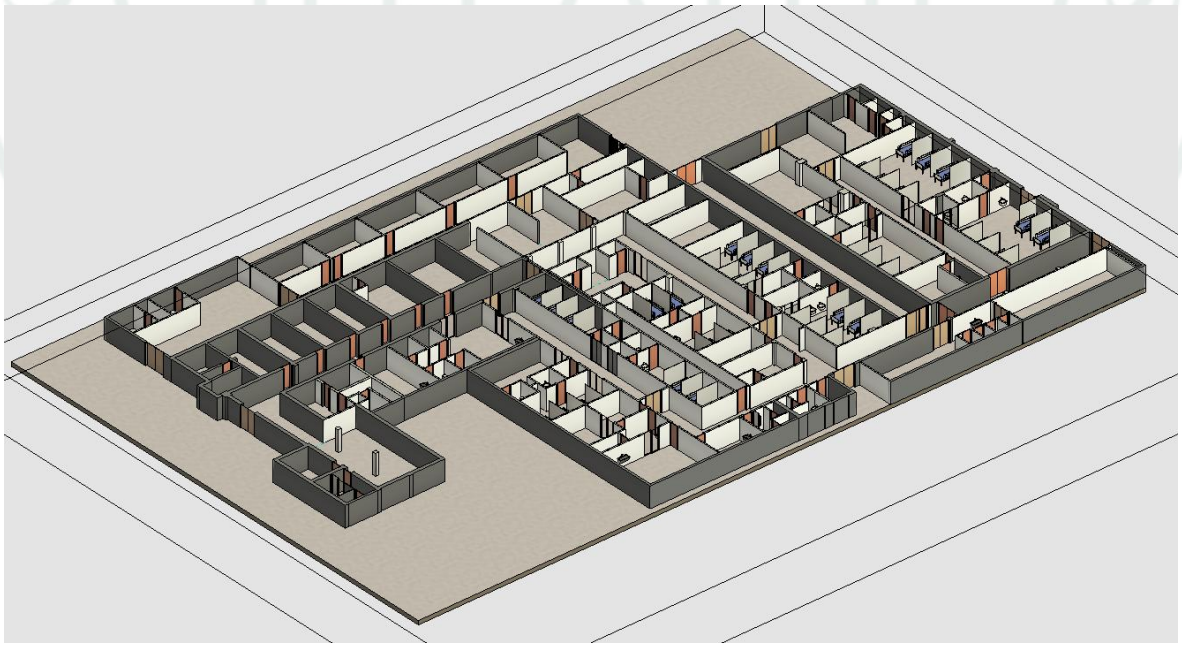
La metodología BIM se aplicará a través del software comercial Revit 2024 para ello primeramente se tendrá el modelo arquitectónico y estructural para posteriormente proyectar sobre este modelo la ingeniería correspondiente a HVAC.

### 3.1 Modelado arquitectónica y estructural

El modelado estructural se realizó a partir de los planos 2d en Autocad, estos planos fueron elaborados por estudios arquitectónicos especializados, y la normativa técnica vigente del MINSA y las normas NTP, además de la distribución de los espacios, todos estos planos, se mostrarán en los anexos xx, para dar un ejemplo de este modelado, se tomará de ejemplo la sala de operaciones multifuncional de emergencia, la altura del hospital es de 3 metros, con un falso techo a los 2.7 metros, este espacio es para instalar sistemas eléctricos, tuberías y ductos HVAC.

**Figura 8**

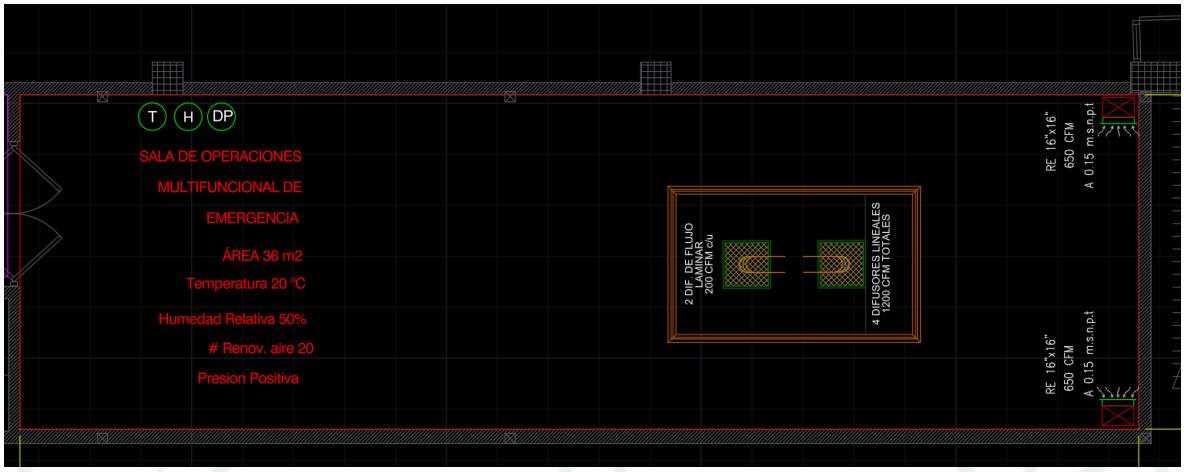
*Modelado Arquitectónico del hospital*



*Nota.* Elaboración Propia, se ha cortado el techo para poder ver los ambientes y pasillos.

**Figura 9**

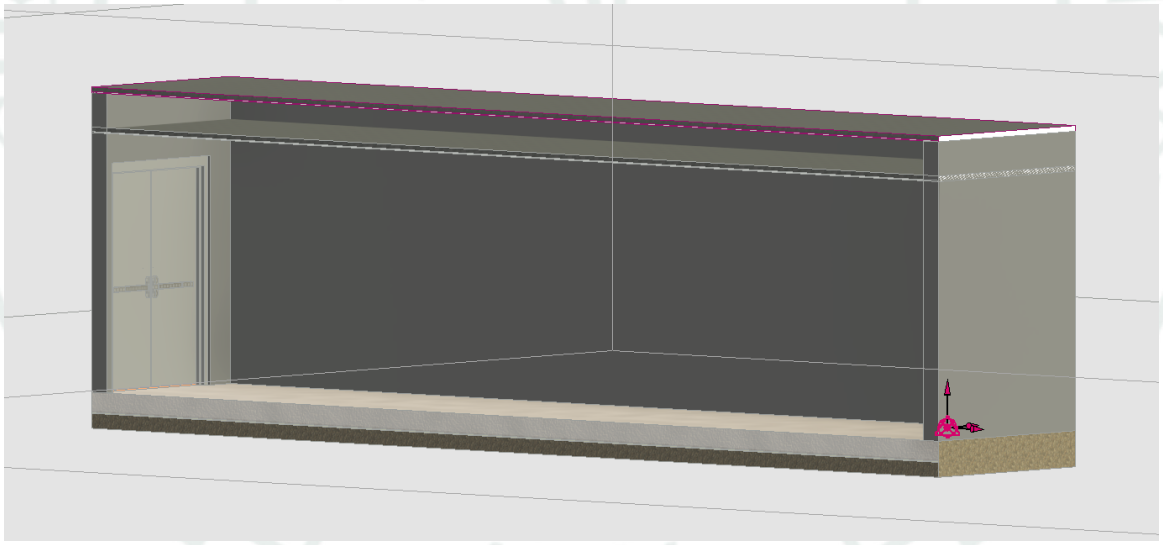
*Plano Autocad sala de operaciones.*




*Nota.* Elaboración Propia.

**Figura 10**

*Modelado 3D sala de operaciones multifuncional*



*Nota.* Elaboración Propia.

## 3.2 Condiciones climáticas

### *3.2.1 Condiciones del Sitio*

- Altitud a nivel del mar: 2562 m.s.n.m.
- Temperatura exterior máxima en verano

La temperatura considerada para la ciudad de Arequipa es la siguiente:

**Tabla 6**

*Parámetros de diseño exteriores.*

| Parámetros Proyectados a 20 años | Valor |
|---|---|
| Temperatura máxima (ºC) Bulbo Seco (BS) | 27.1 |
| Temperatura mínima (ºC) Bulbo Seco (BS) | 0.9 |
| Temperatura máxima Bulbo húmedo (BH) | 16.2 |
| Temperatura mínima Bulbo húmedo (BH) | 4.2 |
| Humedad relativa máx. (%) | 55 |

*Nota.* Elaboración Propia basado en los datos de ASHRAE (Condiciones de diseño climático ASHRAE 2009/2013/2017/2021).

### *3.2.2 Recomendaciones de velocidades del aire y caída de presión*

En general para el diseño y la selección de ductos se ha seguido las recomendaciones de ASHRAE Guide And Data Book.

La velocidad máxima en el ducto se ha considerado, teniendo en cuenta los parámetros descritos en SCHOOLS, THETHERS, PUBLIC BUILDING. Por (ASHRAE 2017), para la cada de presión se empleare el criterio de 0.1 pulgadas de agua por cada 100 pies o 25 Pa por cada 30 metros.

**Tabla 7**

*Velocidades de conducto recomendadas y máximas para sistemas convencionales*

| DESIGNACIÓN | RESIDENCIAS | ESCUELAS, TEATROS, EDIFICIOS PÚBLICOS | EDIFICIOS INDUSTRIALES |
|---|---|---|---|
| TOMAS DE AIRE EXTERIOR | 500 | 500 | 500 |
| FILTROS | 250 | 300 | 350 |
| SERPENTINES DE CALEFACCIÓN | 450 | 500 | 600 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| SERPENTINES DE ENFRIAMIENTO | 450 | 500 | 600 |
| LAVADORES DE AIRE | 500 | 500 | 500 |
| SALIDAS DE VENTILADORES | 1000 | 1300-2000 | 1600-2400 |
| DUCTOS PRINCIPALES | 700-900 | 1000-1300 | 1200-1800 |
| DUCTOS SECUNDARIOS | 600 | 600-900 | 800-1000 |
| ASCENDENTES SECUNDARIOS | 500 | 600-700 | 800 |

*Nota.* Adaptado de (ASHRAE Handbook 2017), las velocidades en ppm (pies por minuto).

### *3.2.3 Coeficientes globales de transmisión*

**Tabla 8**

*Coeficiente globales de transferencia de calor en muros y techos*

| Paredes | Unidades Imperiales | Unidades Sistema Internacional |
|---|---|---|
| Paredes exteriores | 0.35 BTU/h pie2 ºF | 1.987 W/m2ºC |
| Paredes interiores | 0.35 BTU/h pie2 ºF | 1.987 W/m2ºC |
| Techo al sol | 0.35 BTU/h pie2 ºF | 1.987 W/m2ºC |

*Nota.* Elaboración propia.

### *3.2.4 Clasificación de zonas del hospital*

La clasificación de las zonas del hospital fue realizada de acuerdo a la Norma 170-2008 ASHRAE, teniendo en cuenta todos los ambientes correspondientes al hospital nivel III, si bien es cierto no diseñaremos estos ambientes, sirve al lector para tener una referencia o guía sobre la clasificación de los ambientes hospitalarios, para nuestro caso nos centraremos en la sala de operaciones multifuncional, código HY-1010

**Tabla 9**

*Clasificación de zonas del hospital.*

| Número | Departamento | Nombre | Área | Volumen | Renovaciones por Hora | CFM por Renovaciones de Aire | Tipo de Presión | Tipo de Ventilación | Todo el Aire Evacuado al exterior | Permite Aire recirculado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HY-1010 | Sala de Operación Multifuncional | Sala de Operaciones Multifuncional | 35.66 $m^2$ | 92.71 $m^3$ | 20 | 1091.3 CFM | Positiva | Aire Acondicionado | NR | NO |
| HY-1020 | Recuperación de inducción Anestésica | Recuperación de inducción Anestésica | 31.70 $m^2$ | 82.41 $m^3$ | 15 | 727.6 CFM | Positiva | Aire Acondicionado | NR | NO |
| HY-1021 | Recuperación de Inducción Anestésica | SSHH-01 | 1.62 $m^2$ | 4.21 $m^3$ | 20 | 49.5 CFM | Negativa | Extracción Aire Sucio | 100% | NO |
| HY-1022 | Recuperación de inducción Anestésica | Esclusa | 1.20 $m^2$ | 3.13 $m^3$ | 15 | 27.6 CFM | Negativa | Extracción Aire Sucio | NR | NO |
| HY-1023 | Recuperación de inducción Anestésica | Esclusa | 1.34 $m^2$ | 3.50 $m^3$ | 15 | 30.9 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | NR | NO |
| HY-1024 | Recuperación de inducción Anestésica | Lavamanos | 1.21 $m^2$ | 3.14 $m^3$ | 0 | 0.0 CFM | NR | NR | NR | NO |
| HY-1030 | Depósito de Residuos | Depósito de Residuos | 4.61 $m^2$ | 11.98 $m^3$ | 14 | 98.7 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |
| HY-1040 | SSHH Publico | SSHH Publico Damas-01 | 6.71 $m^2$ | 17.45 $m^3$ | 20 | 205.4 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |
| HY-1042 | SSHH Publico | SSHH Publico Varones-01 | 7.34 $m^2$ | 19.08 $m^3$ | 20 | 224.5 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |
| HY-1050 | Lab de Citopatología | Lab de Citopatología | 10.09 $m^2$ | 26.23 $m^3$ | 6 | 92.6 CFM | Negativa | Aire Acondicionado | 100% | NO |
| HY-1060 | Lab de Emergencia | Lab de Emergencia | 32.39 $m^2$ | 84.21 $m^3$ | 8 | 396.5 CFM | Negativa | Aire Acondicionado | 100% | NO |

| Número | Departamento | Nombre | Área | Volumen | Renovaciones por Hora | CFM por Renovaciones de Aire | Tipo de Presión | Tipo de Ventilación | Todo el Aire Evacuado al exterior | Permite Aire recirculado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HY-1070 | Banco de Sangre | Banco de Sangre | 12.74 $m^2$ | 33.12 $m^3$ | 12 | 233.9 CFM | Negativa | Aire Acondicionado | NR | NO |
| HY-1071 | Banco de Sangre | Toma de Muestras | 7.25 $m^2$ | 18.84 $m^3$ | 12 | 133.1 CFM | Negativa | Aire Acondicionado | NR | NO |
| HY-1072 | Banco de Sangre | SSHH-02 | 2.97 $m^2$ | 7.73 $m^3$ | 20 | 91.0 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |
| HY-1073 | Banco de Sangre | Despacho de unidades de sangre | 8.88 $m^2$ | 23.09 $m^3$ | 12 | 163.1 CFM | Negativa | Aire Acondicionado | NR | NO |
| HY-1080 | Sala de Observación de Pediatria-01 | Sala de Observación de Pediatria-02 | 20.85 $m^2$ | 54.22 $m^3$ | 12 | 382.9 CFM | Negativa | Aire Acondicionado | NR | NO |
| HY-1081 | Sala de Observación de Pediatria-01 | SSHH-03 | 3.30 $m^2$ | 8.59 $m^3$ | 20 | 101.1 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |
| HY-1090 | Sala de Observación de Pediatria-02 | Sala de Observación de Pediatria-01 | 20.01 $m^2$ | 52.02 $m^3$ | 12 | 367.4 CFM | Negativa | Aire Acondicionado | NR | NO |
| HY-1110 | Cuarto de Limpieza | Cuarto de Limpieza-01 | 3.18 $m^2$ | 8.28 $m^3$ | 16 | 78.0 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | NR | NO |
| HY-1120 | Estación de Enfermeras-01 | Estación de Enfermeras-01 | 33.40 $m^2$ | 86.84 $m^3$ | 12 | 613.4 CFM | Negativa | Aire Acondicionado | NR | NO |
| HY-1121 | Estación de Enfermeras-01 | Zona de Trabajo Limpio | 3.42 $m^2$ | 8.89 $m^3$ | 20 | 104.7 CFM | Positiva | Suministro Aire Limpio | NR | NO |
| HY-1122 | Estación de Enfermeras-01 | Zona de Trabajo Sucio | 3.65 $m^2$ | 9.49 $m^3$ | 20 | 111.7 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |

| Número | Departamento | Nombre | Área | Volumen | Renovaciones por Hora | CFM por Renovaciones de Aire | Tipo de Presión | Tipo de Ventilación | Todo el Aire Evacuado al exterior | Permite Aire recirculado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HY-1123 | Estación de Enfermeras-01 | SSHH-05 | 3.40 $m^2$ | 8.83 $m^3$ | 20 | 104.0 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |
| HY-1124 | Estación de Enfermeras-01 | LAVA CHATA | 3.13 $m^2$ | 8.15 $m^3$ | 0 | 0.0 CFM | NR | NR | NR | NO |
| HY-1130 | Tópico de Inyectables y Nebulizaciones-01 | Tópico de Inyectables y Nebulizaciones-01 | 18.22 $m^2$ | 47.36 $m^3$ | 12 | 334.5 CFM | Negativa | Aire Acondicionado | NR | NO |
| HY-1140 | Módulo de Atención de Pediatría y Mujer | Admisión | 6.33 $m^2$ | 16.46 $m^3$ | 12 | 116.2 CFM | Positiva | Aire Acondicionado | NR | NO |
| HY-1141 | Módulo de Atención de Pediatría y Mujer | SSHH-06 | 3.15 $m^2$ | 8.18 $m^3$ | 20 | 96.3 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |
| HY-1142 | Módulo de Atención de Pediatría y Mujer | Almacén | 4.87 $m^2$ | 12.66 $m^3$ | 12 | 89.4 CFM | Positiva | Suministro Aire Limpio | NR | NO |
| HY-1143 | Módulo de Atención de Pediatría y Mujer | Módulo de Atención de Pediatría y Mujer | 11.75 $m^2$ | 30.55 $m^3$ | 12 | 215.8 CFM | Positiva | Aire Acondicionado | NR | NO |
| HY-1144 | Sala de Espera de Pediatría | Sala de Espera de Pediatría | 50.68 $m^2$ | 131.77 $m^3$ | 12 | 930.7 CFM | Positiva | Aire Acondicionado | NR | NO |
| HY-1150 | SSHH Publico | SSHH Publico Damas-02 | 9.29 $m^2$ | 24.14 $m^3$ | 20 | 284.2 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |
| HY-1151 | SSHH Publico | SSHH Publico Varones-02 | 9.53 $m^2$ | 24.77 $m^3$ | 20 | 291.6 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |
| HY-1160 | Unidad de Cuidados Intermedios de Emergencia | Unidad de Cuidados Intermedios de Emergencia | 55.70 $m^2$ | 144.82 $m^3$ | 6 | 511.4 CFM | NR | NR | NR | NO |
| HY-1161 | Unidad de Cuidados Intermedios de Emergencia | SSHH-07 | 4.78 $m^2$ | 12.42 $m^3$ | 12 | 87.7 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |
| HY-1162 | Unidad de Cuidados Intermedios de Emergencia | Esclusa | 3.82 $m^2$ | 9.94 $m^3$ | 16 | 93.6 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | NR | NO |

| Número | Departamento | Nombre | Área | Volumen | Renovaciones por Hora | CFM por Renovaciones de Aire | Tipo de Presión | Tipo de Ventilación | Todo el Aire Evacuado al exterior | Permite Aire recirculado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HY-1170 | Sala de Observación Adultos Varones-01 | Sala de Observación Adultos Varones-01 | 55.09 $m^2$ | 143.22 $m^3$ | 8 | 674.4 CFM | NR | Aire Acondicionado | NR | NO |
| HY-1171 | Sala de Observación Adultos Varones-01 | SSHH-08 | 3.07 $m^2$ | 7.98 $m^3$ | 20 | 94.0 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |
| HY-1180 | Estación de Enfermeras-02 | Estación de Enfermeras-02 | 18.57 $m^2$ | 48.29 $m^3$ | 20 | 568.4 CFM | Negativa | Aire Acondicionado | NR | NO |
| HY-1181 | Estación de Enfermeras-02 | Zona de Trabajo Sucio | 2.31 $m^2$ | 6.01 $m^3$ | 20 | 70.8 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |
| HY-1182 | Estación de Enfermeras-02 | Zona de Trabajo Limpio | 2.07 $m^2$ | 5.37 $m^3$ | 20 | 63.2 CFM | Positiva | Suministro Aire Limpio | NR | NO |
| HY-1183 | Estación de Enfermeras-02 | LAVA CHATA | 1.34 $m^2$ | 3.49 $m^3$ | 0 | 0.0 CFM | NR | NR | NR | NO |
| HY-1184 | Estación de Enfermeras-02 | SSHH-09 | 1.98 $m^2$ | 5.15 $m^3$ | 20 | 60.6 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |
| HY-1190 | Estar de Personal-03 | Estar de Personal-03 | 14.47 $m^2$ | 37.63 $m^3$ | 12 | 265.8 CFM | Negativa | Aire Acondicionado | NR | NO |
| HY-1191 | Estar de Personal-03 | SSHH-10 | 3.61 $m^2$ | 9.39 $m^3$ | 20 | 110.6 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |
| HY-1210 | Sala de Observación de Adultos Aislados-02 | Sala de Observación de Adultos Aislados-02 | 31.11 $m^2$ | 80.88 $m^3$ | 12 | 571.2 CFM | Negativa | Aire Acondicionado | 100% | NO |
| HY-1211 | Sala de Observación de Adultos Aislados-02 | SSHH-11 | 3.37 $m^2$ | 8.76 $m^3$ | 20 | 103.1 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |
| HY-1212 | Sala de Observación de Adultos Aislados-02 | Esclusa | 4.70 $m^2$ | 12.22 $m^3$ | 15 | 107.9 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | NR | NO |

| Número | Departamento | Nombre | Área | Volumen | Renovaciones por Hora | CFM por Renovaciones de Aire | Tipo de Presión | Tipo de Ventilación | Todo el Aire Evacuado al exterior | Permite Aire recirculado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HY-1220 | Sala de Observación de Adultos Aislados-01 | Sala de Observación de Adultos Aislados-01 | 33.06 $m^2$ | 85.95 $m^3$ | 12 | 607.1 CFM | Negativa | Aire Acondicionado | 100% | NO |
| HY-1221 | Sala de Observación de Adultos Aislados-01 | SSHH-12 | 3.67 $m^2$ | 9.53 $m^3$ | 20 | 112.2 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |
| HY-1222 | Sala de Observación de Adultos Aislados-01 | Esclusa | 4.95 $m^2$ | 12.88 $m^3$ | 15 | 113.7 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | NR | NO |
| HY-1230 | Sala de Observación Adultos Mujeres-01 | Sala de Observación Adultos Mujeres-01 | 34.40 $m^2$ | 89.43 $m^3$ | 8 | 421.1 CFM | NR | Aire Acondicionado | NR | NO |
| HY-1231 | Sala de Observación Adultos Mujeres-01 | Esclusa | 6.06 $m^2$ | 15.74 $m^3$ | 15 | 139.0 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | NR | NO |
| HY-1232 | Sala de Observación Adultos Mujeres-01 | SSHH-13 | 3.30 $m^2$ | 8.57 $m^3$ | 20 | 100.9 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |
| HY-1232 | Sala de Observación de Pediatria-02 | SSHH-04 | 3.12 $m^2$ | 8.12 $m^3$ | 20 | 95.5 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |
| HY-1240 | Sala de Aislados Adulos Mujeres-02 | Sala de Aislados Adulos Mujeres-02 | 34.83 $m^2$ | 90.57 $m^3$ | 8 | 426.5 CFM | NR | Aire Acondicionado | 100% | NO |
| HY-1241 | Sala de Aislados Adulos Mujeres-02 | Esclusa | 6.11 $m^2$ | 15.90 $m^3$ | 15 | 140.3 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | NR | NO |
| HY-1242 | Sala de Aislados Adulos Mujeres-02 | SSHH-14 | 3.33 $m^2$ | 8.65 $m^3$ | 20 | 101.8 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |
| HY-1250 | Tópico de Traumatología | Tópico de Traumatología | 19.51 $m^2$ | 50.74 $m^3$ | 8 | 238.9 CFM | Positiva | Aire Acondicionado | NR | NO |
| HY-1251 | Preparación de Yeso | Preparación de Yeso | 13.58 $m^2$ | 35.30 $m^3$ | 6 | 124.6 CFM | NR | NR | NR | NO |

| Número | Departamento | Nombre | Área | Volumen | Renovaciones por Hora | CFM por Renovaciones de Aire | Tipo de Presión | Tipo de Ventilación | Todo el Aire Evacuado al exterior | Permite Aire recirculado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HY-1260 | Tópico Shock Trauma y Rehabilitación | Tópico Shock Trauma y Rehabilitación | 27.96 $m^2$ | 72.71 $m^3$ | 8 | 342.4 CFM | Positiva | Aire Acondicionado | NR | NO |
| HY-1261 | Tópico Shock Trauma y Rehabilitación | SSHH-15 | 3.91 $m^2$ | 10.17 $m^3$ | 20 | 119.8 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |
| HY-1270 | Módulo de Atención | Módulo de Atención | 8.81 $m^2$ | 22.91 $m^3$ | 8 | 107.9 CFM | NR | Aire Acondicionado | NR | SI |
| HY-1280 | Archivo | Archivo | 4.01 $m^2$ | 10.41 $m^3$ | 0 | 0.0 CFM | NR | NR | NR | SI |
| HY-1290 | Sala de Espera de Adultos Mujeres | Sala de Espera de Adultos Mujeres | 39.97 $m^2$ | 103.93 $m^3$ | 12 | 734.0 CFM | NR | Aire Acondicionado | 100% | NO |
| HY-1310 | Tópico de Cirugía General | Tópico de Cirugía General | 24.59 $m^2$ | 63.94 $m^3$ | 8 | 301.1 CFM | NR | Aire Acondicionado | NR | NO |
| HY-1320 | Ginecología | Ginecología | 22.27 $m^2$ | 57.91 $m^3$ | 10 | 340.8 CFM | Positiva | Aire Acondicionado | NR | NO |
| HY-1321 | Ginecología | SSHH-16 | 1.76 $m^2$ | 4.58 $m^3$ | 20 | 53.9 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |
| HY-1330 | Tópico de Pediatria-02 | Tópico de Pediatria-02 | 15.59 $m^2$ | 40.52 $m^3$ | 8 | 190.8 CFM | Negativa | Aire Acondicionado | NR | NO |
| HY-1340 | Tópico de Pediatria-01 | Tópico de Pediatria-01 | 15.95 $m^2$ | 41.48 $m^3$ | 8 | 195.3 CFM | Negativa | Aire Acondicionado | NR | NO |
| HY-1350 | Tópico Neonatal | Tópico Neonatal | 15.71 $m^2$ | 40.85 $m^3$ | 8 | 192.3 CFM | Positiva | Aire Acondicionado | NR | NO |

| Número | Departamento | Nombre | Área | Volumen | Renovaciones por Hora | CFM por Renovaciones de Aire | Tipo de Presión | Tipo de Ventilación | Todo el Aire Evacuado al exterior | Permite Aire recirculado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HY-1360 | Trauma Shock | Trauma Shock | 15.35 $m^2$ | 39.92 $m^3$ | 15 | 352.4 CFM | Positiva | Aire Acondicionado | NR | NO |
| HY-1361 | Oficina Administrativa | Oficina Administrativa | 7.33 $m^2$ | 19.06 $m^3$ | 8 | 89.7 CFM | NR | Aire Acondicionado | NR | SI |
| HY-1362 | Oficina Administrativa | Archivo | 2.42 $m^2$ | 6.28 $m^3$ | 0 | 0.0 CFM | NR | NR | NR | SI |
| HY-1370 | Estación de Camillas y Silla de Ruedas | Estación de Camillas y Silla de Ruedas | 6.31 $m^2$ | 16.42 $m^3$ | 0 | 0.0 CFM | NR | NR | NR | NO |
| HY-1380 | Módulo de Atención de Alivio Inmediato Adultos | Módulo de Atención de Alivio Inmediato Adultos | 16.02 $m^2$ | 41.66 $m^3$ | 12 | 294.3 CFM | NR | Aire Acondicionado | NR | SI |
| HY-1390 | Tópico de Inyectables y Nebulizaciones-02 | Tópico de Inyectables y Nebulizaciones-02 | 16.00 $m^2$ | 41.59 $m^3$ | 12 | 293.8 CFM | NR | Aire Acondicionado | NR | NO |
| HY-1410 | Tópico de Medicina | Tópico de Medicina | 15.98 $m^2$ | 41.55 $m^3$ | 8 | 195.6 CFM | NR | Aire Acondicionado | NR | NO |
| HY-1420 | SSHH Publico | SSHH Publico Damas-03 | 13.63 $m^2$ | 35.43 $m^3$ | 20 | 417.0 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |
| HY-1430 | SSHH Publico | SSHH Publico Varones-03 | 13.65 $m^2$ | 35.50 $m^3$ | 20 | 417.8 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |
| HY-1440 | SSHH Publico | SSHH Publico Damas-04 | 5.98 $m^2$ | 15.55 $m^3$ | 20 | 183.1 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |
| HY-1450 | Servicio Social | Servicio Social | 6.02 $m^2$ | 15.65 $m^3$ | 12 | 110.5 CFM | NR | Aire Acondicionado | NR | SI |
| HY-1451 | Servicio Social | SSHH-17 | 2.92 $m^2$ | 7.59 $m^3$ | 20 | 89.4 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | SI |

| Número | Departamento | Nombre | Área | Volumen | Renovaciones por Hora | CFM por Renovaciones de Aire | Tipo de Presión | Tipo de Ventilación | Todo el Aire Evacuado al exterior | Permite Aire recirculado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HY-1460 | Oficina de nutrición | Oficina de nutrición | 13.49 $m^2$ | 35.07 $m^3$ | 12 | 247.7 CFM | Positiva | Aire Acondicionado | NR | SI |
| HY-1461 | Oficina de nutrición | SSHH-18 | 2.03 $m^2$ | 5.29 $m^3$ | 20 | 62.2 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |
| HY-1470 | Área de nutrición | Área de nutrición | 11.49 $m^2$ | 29.87 $m^3$ | 12 | 211.0 CFM | Positiva | Aire Acondicionado | NR | NO |
| HY-1480 | Sala de Observación Adultos Mujeres-02 | Sala de Observación Adultos Mujeres-02 | 17.92 $m^2$ | 46.59 $m^3$ | 8 | 219.4 CFM | NR | Aire Acondicionado | NR | NO |
| HY-1481 | Sala de Observación Adultos Mujeres-02 | SSHH-19 | 2.81 $m^2$ | 7.31 $m^3$ | 20 | 86.0 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |
| HY-1490 | Sala de Observación Adultos Mujeres-03 | Sala de Observación Adultos Mujeres-03 | 17.80 $m^2$ | 46.27 $m^3$ | 8 | 217.9 CFM | NR | Aire Acondicionado | NR | NO |
| HY-1491 | Sala de Observación Adultos Mujeres-03 | SSHH-20 | 3.26 $m^2$ | 8.48 $m^3$ | 20 | 99.8 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |
| HY-1510 | Estación de Enfermeras-03 | Estación de Enfermeras-03 | 22.21 $m^2$ | 57.75 $m^3$ | 12 | 407.9 CFM | Negativa | Aire Acondicionado | NR | NO |
| HY-1511 | Estación de Enfermeras-03 | Zona de Trabajo Sucio | 2.08 $m^2$ | 5.40 $m^3$ | 20 | 63.6 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |
| HY-1512 | Estación de Enfermeras-03 | Zona de Trabajo Limpio | 2.17 $m^2$ | 5.65 $m^3$ | 20 | 66.6 CFM | Positiva | Suministro Aire Limpio | NR | NO |
| HY-1513 | Estación de Enfermeras-03 | LAVA CHATA | 3.24 $m^2$ | 8.44 $m^3$ | 20 | 99.3 CFM | NR | NR | NR | NO |
| HY-1514 | Estación de Enfermeras-03 | SSHH-21 | 2.17 $m^2$ | 5.64 $m^3$ | 20 | 66.4 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |

| Número | Departamento | Nombre | Área | Volumen | Renovaciones por Hora | CFM por Renovaciones de Aire | Tipo de Presión | Tipo de Ventilación | Todo el Aire Evacuado al exterior | Permite Aire recirculado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HY-1520 | Sala de Aislados Pediatria-01 | Sala de Aislados Pediatria-01 | 23.99 $m^2$ | 62.36 $m^3$ | 12 | 440.5 CFM | Negativa | Aire Acondicionado | 100% | NO |
| HY-1521 | Sala de Aislados Pediatria-01 | SSHH-22 | 3.17 $m^2$ | 8.25 $m^3$ | 20 | 97.2 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |
| HY-1522 | Sala de Aislados Pediatria-01 | Esclusa | 2.07 $m^2$ | 5.39 $m^3$ | 15 | 47.6 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | NR | NO |
| HY-1530 | Sala de Aislados Pediatria-02 | Sala de Aislados Pediatria-02 | 22.43 $m^2$ | 58.31 $m^3$ | 12 | 411.8 CFM | Negativa | Aire Acondicionado | 100% | NO |
| HY-1531 | Sala de Aislados Pediatria-02 | SSHH-23 | 3.16 $m^2$ | 8.20 $m^3$ | 20 | 96.6 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | 100% | NO |
| HY-1532 | Sala de Aislados Pediatria-02 | Esclusa | 2.06 $m^2$ | 5.35 $m^3$ | 20 | 63.0 CFM | Negativa | extracción Aire Sucio | NR | NO |

*Nota.* Elaboración Propia, se muestra todas las zonas del hospital, considerando todos los parámetros requeridos para el diseño HVAC, según Norma 170-2008 ASHRAE.

## 3.3 Cálculos térmicos para confort

Para los cálculos térmico se tendrán en cuenta factores de seguridad a calor latente y sensible del 10%, se emplearán un cálculo analítico y por software (Elite HVAC) para el ambiente más importante correspondiente a la sala de operaciones multifuncional, el resto de los ambientes se calcularán solo por el software, ya que el procedimiento es repetitivo.

### *3.3.1 Cálculo de Sala de operaciones multifuncional*

La norma ASHRAE tiene las consideraciones mostradas en la Tabla 10, de ahí tomaremos una humedad relativa de 55% y una temperatura de diseño de 20°C, ya que Arequipa tiene un clima templado y las temperaturas máximas son de 27.1°C.

**Tabla 10**

*Consideraciones de diseño para sala de operaciones*

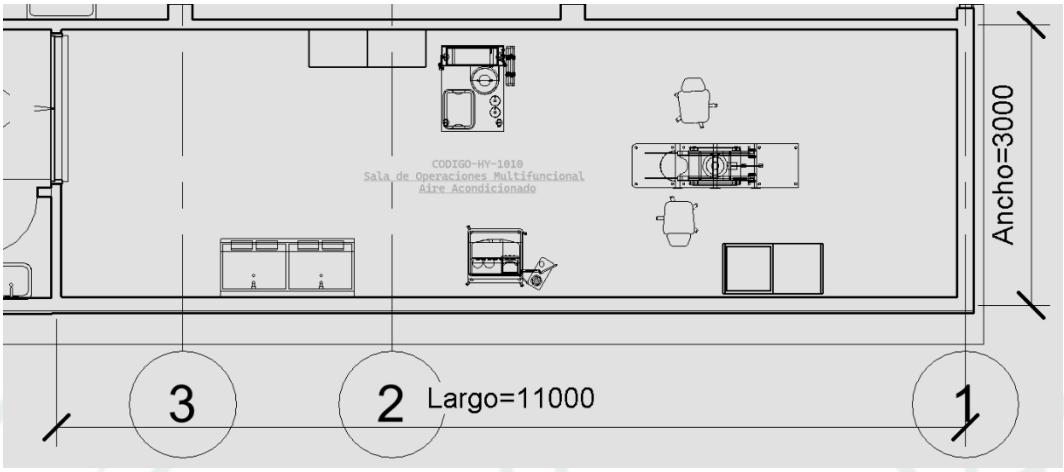
| Relación de Presión con Áreas Adyacentes | ACH Mínimo Exterior | ACH Total Mínimo | Todo el Aire de la Habitación extraído | Aire Recirculado por Unidades de Reducción No Ocupada | Eficiencia Mínima de Filtro | Humedad Relativa (%) | Temperatura de Diseño (°F/°C) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Positiva | 4 | 20 | Sí | No | Sí | MERV-16 (hh) | 20-60 | 68-75/20-24 |

*Nota.* Elaboración Propia basado en ASHRAE Estándar 170-2021.

**3.3.1.1 Cálculo de cargas térmicas analíticamente.** Para el caculo de cargas térmicas emplearemos las ecuaciones definidas en el marco teórico.

**Figura 11**

*Geometría de la sala de operaciones*




*Nota.* Elaboración Propia empleando Revit 2024.

Calor por ganancia solar en pared expuesta.

$A := 11\ m \cdot 3\ m = 33\ m^2$ Área expuesta al sol

$V := 11\ m \cdot 3\ m \cdot 2.7\ m = 89.10\ m^3$ Volumen de la sala de operaciones

$U := 1.987\ W/(m^2 \cdot \Delta^{\circ}C)$ Coeficiente global de transferencia de calor, para muros de concreto

Los siguientes factores corresponden a la tabla 7 de ASHRAE capítulo 17

$OF_t = 1$ Factor de enfriamiento transmisivo de la superficie opaca

$OF_b = 8.2\ K$ Coeficiente auxiliar de base de temperatura

$OF_r = -0.36$ Factor radiativo o de corrección de la superficie opaca

$DR = 0\ K$ Diferencia de temperatura media de referencia

$\Delta T_1 = 7\ K$ Diferencia de temperatura efectiva a través del cerramiento

**Tabla 11**

*Coeficientes del factor de enfriamiento para superficies opacas*

| Tipo de superficie | $OF_t$ | $OF_\beta$, K | $OF_r$ |
|---|---|---|---|
| Cielo raso o muro adyacente a entretecho (ático) ventilado | 0.62 | 14.3·α_techo − 4.5 | −0.19 |
| Conjunto techo–cielo raso (ceiling/roof assembly) | 1 | 38.3·α_techo − 7.0 | −0.36 |
| Muro (estructura de madera) o puerta con exposición solar directa | 1 | 8.2 | −0.36 |
| Muro (estructura de madera) o puerta en sombra | 1 | 0 | −0.36 |
| Piso sobre ambiente exterior (piso expuesto al aire exterior) | 1 | 0 | −0.06 |
| Piso sobre cámara sanitaria / espacio de arrastre (crawlspace) | 0.33 | 0 | −0.28 |
| Losa de piso sobre terreno (véase sección “Losa de piso”) | — | — | — |

*Nota.* Tabla adaptada de “Residential cooling and heating load calculations”, en 2021 ASHRAE handbook—Fundamentals (SI edition) (ASHRAE, 2021).

Finalmente, el calor total es de:

$$CF_{opq} \coloneqq U \cdot (OF_t \cdot \Delta T_1 + OF_b + OFr \cdot DR) \qquad \text{Factor de superficie opaca}$$

$$CF_{opq} = 30.202 \frac{W}{m^2} \qquad \text{Factor de superficie opaca}$$

$$Q_{opq} \coloneqq A \cdot CF_{opq} = 996.679\ \text{W} \qquad \text{Ganancia de calor por sol}$$

- Ganancia de calor por Alumbrado.

Estos valores suelen ser altos cuando estamos diseñando salas de operaciones por lo cual para una densidad de 60 W/m2, tenemos potencias de iluminación de

$$Q_{luz} \coloneqq 60W/m2 \cdot 33m2 \qquad \text{Ganancia de calor por alumbrado}$$

$Q_{luz} \coloneqq 1980W$ Ganancia de calor por alumbrado

Este valor se redondeará a 2000 W

- Ganancia de calor por personas.

Para la sala de operaciones consideraremos un total de 8 personas, entre personal médico y el paciente, además según ASHRAE 2017 Handbook Fundamental capítulo 17, las personas emiten 75W como calor sensible en condiciones de reposo.

$Q_{persona} \coloneqq 8 \cdot 75\ \mathrm{W} = 600\ \mathrm{W}$ Calor por personas

- Calor por Equipos.

Los equipos típicos que se encuentra en las salas de operaciones se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 12**

*Equipos en sala de operaciones multifuncional*

| Equipo Médico | Potencia Estimada (W) | Nota. S. |
|---|---|---|
| Lámpara quirúrgica LED (unidad) | 200 – 300 W | Puede haber 2 o más por sala |
| Monitores multiparámetro | 150 – 300 W | 1 por paciente, según procedimiento |
| Máquina de anestesia | 200 – 400 W | Siempre encendida |
| Electrobisturí / Unidad de electrocirugía | 300 – 500 W | Uso intermitente |
| Bomba de infusión | 25 – 50 W | Uso constante |
| Desfibrilador | 50 – 150 W | Uso ocasional |
| Aspirador quirúrgico | 100 – 200 W | Intermitente |
| Mesa quirúrgica motorizada | 100 – 250 W | Variable |
| Calentador de fluidos / sangre | 200 – 400 W | Requiere evaluación puntual |
| Equipo de rayos X portátil | 800 – 2000 W | Uso puntual |

| Equipo Médico | Potencia Estimada (W) | Nota. S. |
|---|---|---|
| Torre de laparoscopía (completa) | 800 – 1500 W | Incluye cámara, luz, insuflador, etc. |
| Microscopio quirúrgico | 200 – 800 W | Cirugías neuro / oftálmicas |
| Servo para paciente / incubadora | 300 – 600 W | Neonatología o casos específicos |
| Ordenadores / PC médico | 100 – 250 W | Por unidad |

*Nota.* Elaboración propia.

No todos estos equipos están en funcionamiento o se encuentran en una sala de operaciones, pero teniendo los equipos de operaciones tenemos valores totales de 2 a 2.5 kW, es por ello por lo que para ser conservadores emplearemos un valor de 2.5 kW.

$$Q_{equipos} \coloneqq 2500 \text{ W}$$ Calor por equipos

Calor sensible subtotal, considerando un factor de seguridad de 10%

$$Q_S \coloneqq 1.1 \cdot \left(Q_{opq} + Q_{luz} + Q_{persona} + Q_{equipos}\right) = 6706 \text{ W}$$ Calor sensible total con 10% extra

$$Q_S \coloneqq 6706 \text{ W}$$ Calor sensible total con 10% extra

Flujo de aire.

Con el calor sensible podemos calcular el flujo de aire que requiere el ambiente, luego verificaremos que esta valor pueda suplir el calor latente y el calor sensible del aire que tiene que ingresar para cumplir con las 20 renovaciones por hora que exige la norma ASHRAE, además consideraremos una diferencia de temperatura de 9 °C recomendada para estos ambientes, eso quiere decir que el aire de ingreso a la sala de operaciones debe estar 9 °C por debajo de la temperatura de confort.

$\rho := 1.2\ \mathrm{kg/m^3}$ Densidad del aire a 20 °C

$C_p := 1.005\ \mathrm{kJ/(kg \cdot K)}$ Calor específico a presión constante

$\Delta T_2 := 9°C$ Diferencia de temperatura de aire

$V° := \frac{Q_S}{PR \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta T_2} = 840.638\ \mathrm{L/s}$ Caudal de suministro de aire

$V° = 1781.21\ cfm$ Caudal de suministro de aire en sistema ingles

Cálculo de calor latente por persona.

Las personas emiten un calor latente bajo condiciones de reposo de 45 W, adicionalmente tenemos que agregar el factor de seguridad del 10%

$Q_{LP} := 8 \cdot 45\ \mathrm{W} = 360\ \mathrm{W}$ Calor latente por persona

$Q_L := 1.1 \cdot Q_{LP} = 396\ \mathrm{W}$ Calor latente total corregido

Luego se tiene que calcular la cantidad de calor sensible que ingresa por el aire de renovación ya que sabemos que estamos por encima del caudal de 20 rev/hr que equivalen a 1048 cfm, por lo tanto, cumplimos con las especificaciones de ASHRAE.

$\mathrm{PR} = 0.735$ Factor de Presión corregido a la altura de 2562 m.s.n.m.

$\rho = 1.2\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m^3}}$ Densidad del aire a 20 °C

$\mathrm{C_p} = 1.005\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg \cdot K}}$ Calor especifico a presión constante

$V° = 840.638\ \mathrm{L/s}$ Caudal de aire exterior

$Q_{SA} := PR \cdot \rho \cdot C_p \cdot V° \cdot \Delta T_4 = 5216.048\ \mathrm{W}$ Calor sensible de aire exterior

Calor sensible total,

Es la suma del calor sensible subtotal y el calor sensible por aire de renovación.

$Q_{ST} := Q_S + Q_{SA} = 11922\ \mathrm{W}$ Calor sensible total

Calor latente total.

Esto se calculará empleando la carta psicrométrica, los valores de densidad, flujo volumétrico, PR, ya fueron calculados, el contenido de humedad en gramos por kg de aire seco se obtiene de la calculadora en línea (Diagrama psicrométrico online y cálculo de las propiedades del aire húmedo)

| | |
|---|---|
| $\text{gra}m_1 \coloneqq 11.708\ \text{gr/kg de aire seco}$ | Contenido de agua (entrada) bajo temperatura de 27 °C y HR 55% |
| $\text{gra}m_2 \coloneqq 10.509\ \text{gr/kg de aire seco}$ | Contenido de agua (salida), bajo ttemperatura de 11.169 °C y HR 95% |
| $h_{fg} = 2.466\,\frac{kJ}{g}$ | Entalpia de vaporación del agua, por gramo, (para no agregar ningún factor a la ecuación) |
| $Q_{LT} \coloneqq PR \cdot \rho \cdot h_{fg} \cdot V^{\circ} \cdot (gram_1 - gram_2)$ $= 2204.194\ \text{W}$ | Calor latente total |

Finalmente podemos calcular el calor latente del aire exterior, sin considerar el calor latente por personas, tenemos

| | |
|---|---|
| $Q_{LA} \coloneqq Q_{LT} + Q_{LP} = 2204W + 396W$ | Calor latente por aire exterior |
| $Q_{LA} = 2600\ \text{W}$ | Calor total en sistema internacional |
| $Q_T \coloneqq Q_{ST} + Q_{LT} = 14.52\ \text{kW}$ | Calor total en sistema internacional |

**Figura 12**

*Datos psicrométricos de entrada y salida para condiciones de aire*




*Nota.* Elaboración Propia.

Resumen de cargas.

**Tabla 13**

*Resumen de cargas térmicas para sala de operación.*

| | Carga Sensible | | Carga Latente | |
|---|---|---|---|---|
| Descripción | W | BTU/hr | W | BTU/hr |
| Solar | 996.68 | 3398.68 | 0.00 | 0.00 |
| Alumbrado | 2000.00 | 6820.00 | 0.00 | 0.00 |
| Personas | 600.00 | 2046.00 | 360.00 | 1227.60 |
| Equipos | 2500.00 | 8525.00 | 0.00 | 0.00 |
| Sut Total factor de 10% | 6706.35 | 22868.64 | 396.00 | 1350.36 |
| Aire del exterior | 5216.00 | 17786.56 | 2204.00 | 7520.36 |
| Total | 11922.35 | 40655.20 | 2600.00 | 8871.568 |

*Nota.* Elaboración Propia.

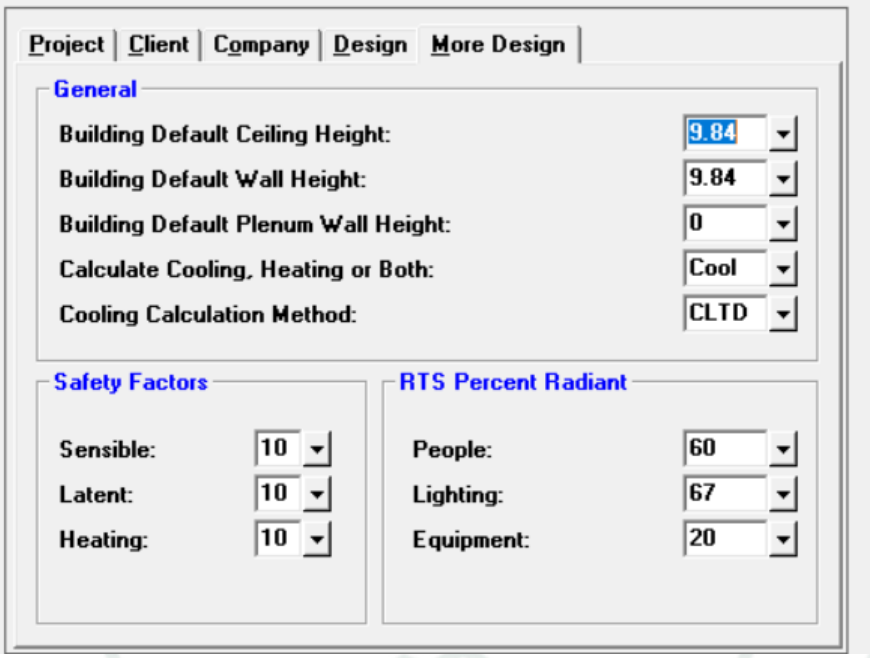
### 3.3.1.2 Cálculo de cargas térmicas por software ELITE HVAC.

Este software emplea el sistema inglés para los datos de entrada y salida, se describirá brevemente el procedimiento del cálculo en el software.

- Datos generales del proyecto.

**Figura 13**

*Datos generales del proyecto*

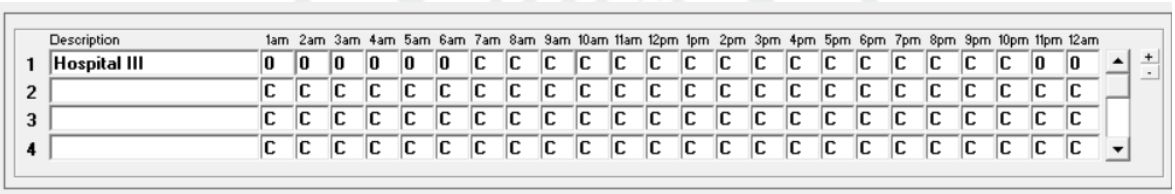



*Nota.* Elaboración Propia empleando el software Elite HVAC.

- Tiempo de operación de la sala.

**Figura 14**

*Tiempo de operación de la sala*

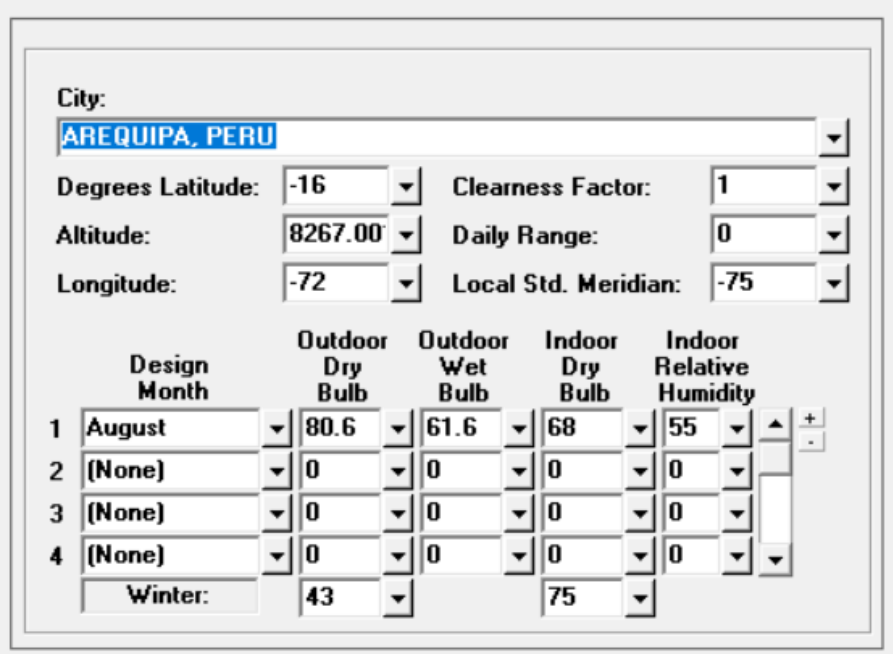



*Nota.* Elaboración Propia empleando el software Elite HVAC.

- Condiciones ambientales de Arequipa

**Figura 15**

*Condiciones ambientales de Arequipa.*

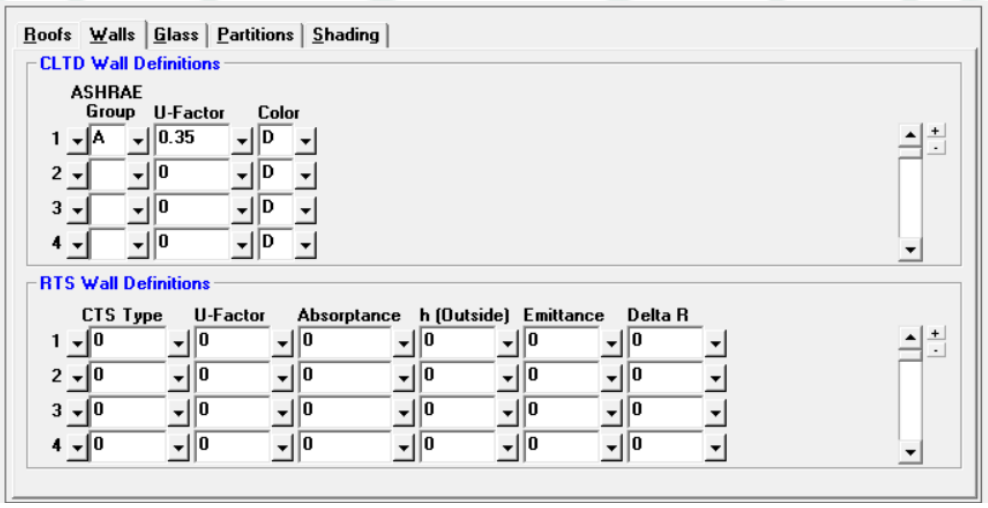



*Nota.* Elaboración Propia empleando el software Elite HVAC.

- Materiales y factores globales de transferencia global.

**Figura 16**

*Materiales y factores globales de transferencia global*

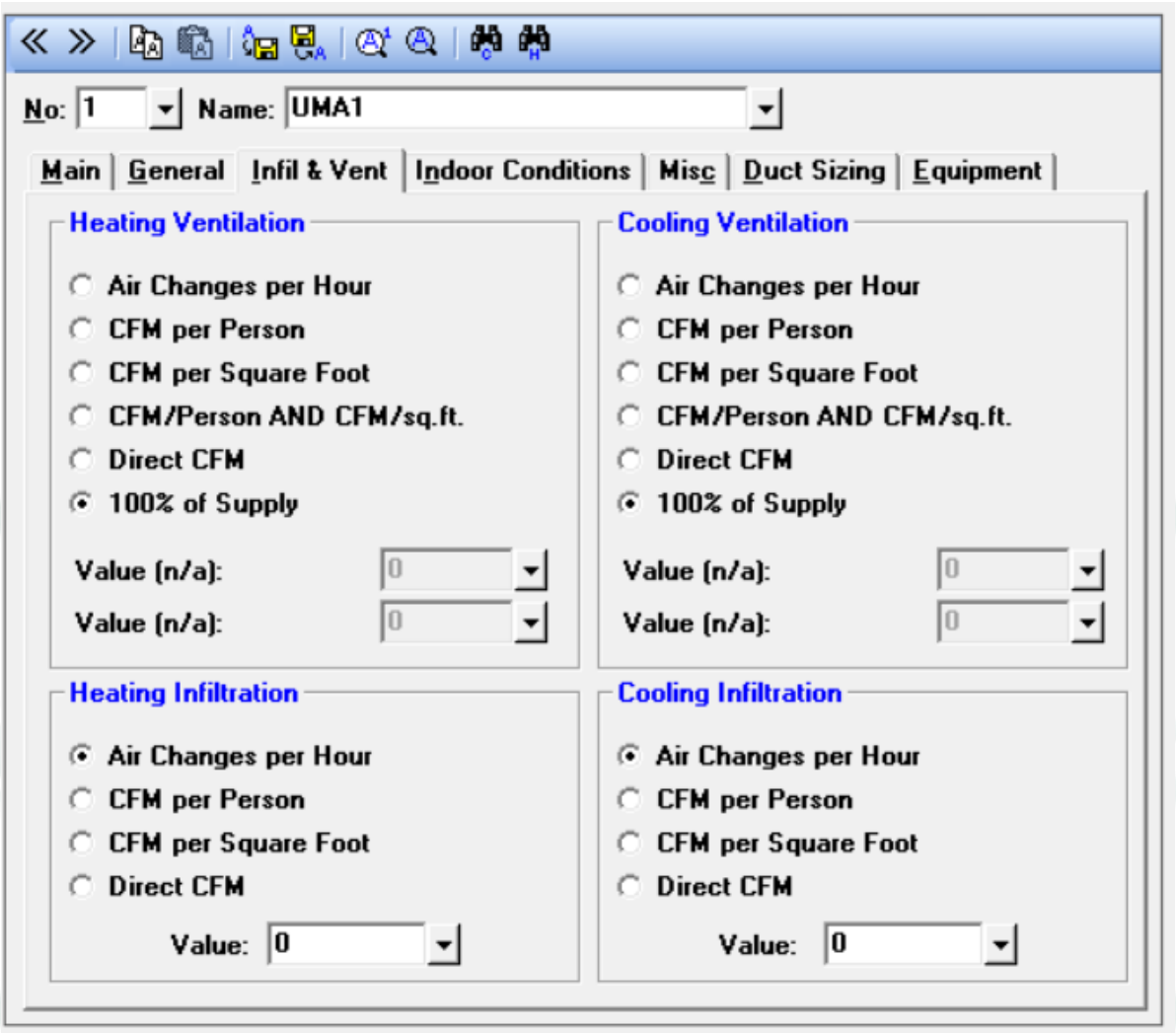



*Nota.* Elaboración Propia empleando el software Elite HVAC.

- Definición de la manejadora de Aire.

**Figura 17**

*Definición de la manejadora de Aire*

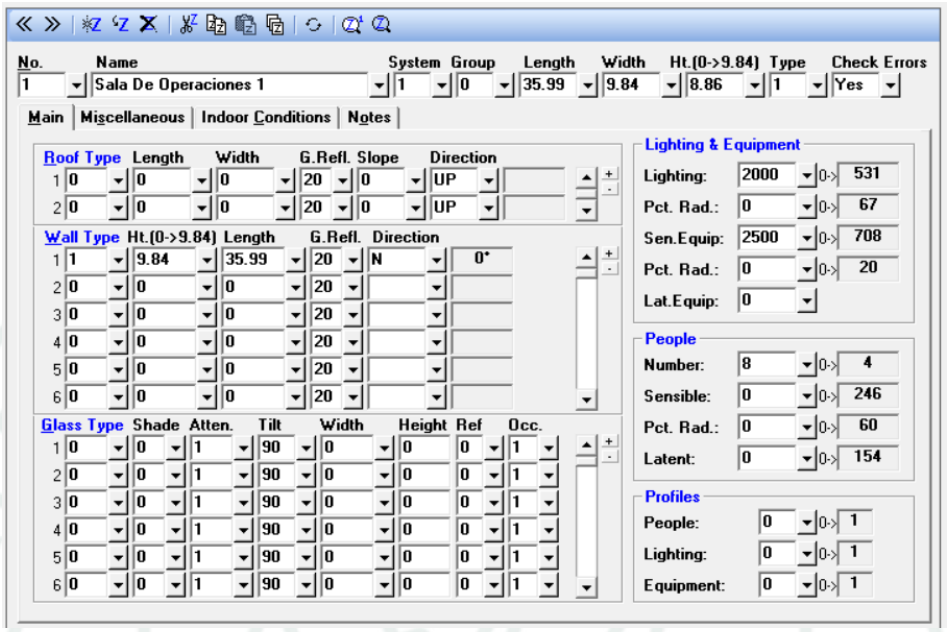



*Nota.* Elaboración Propia empleando el software Elite HVAC.

- Definición del ambiente

**Figura 18**

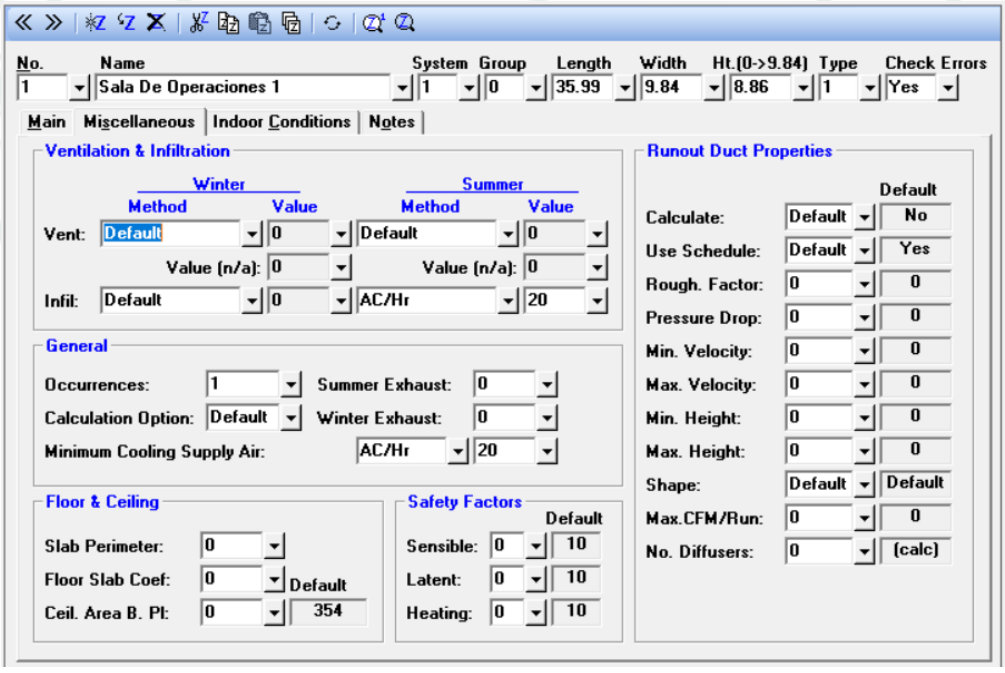
*Definición del ambiente*




*Nota.* Elaboración Propia empleando el software Elite HVAC.

**Figura 19**

*Cambio de renovaciones por hora*

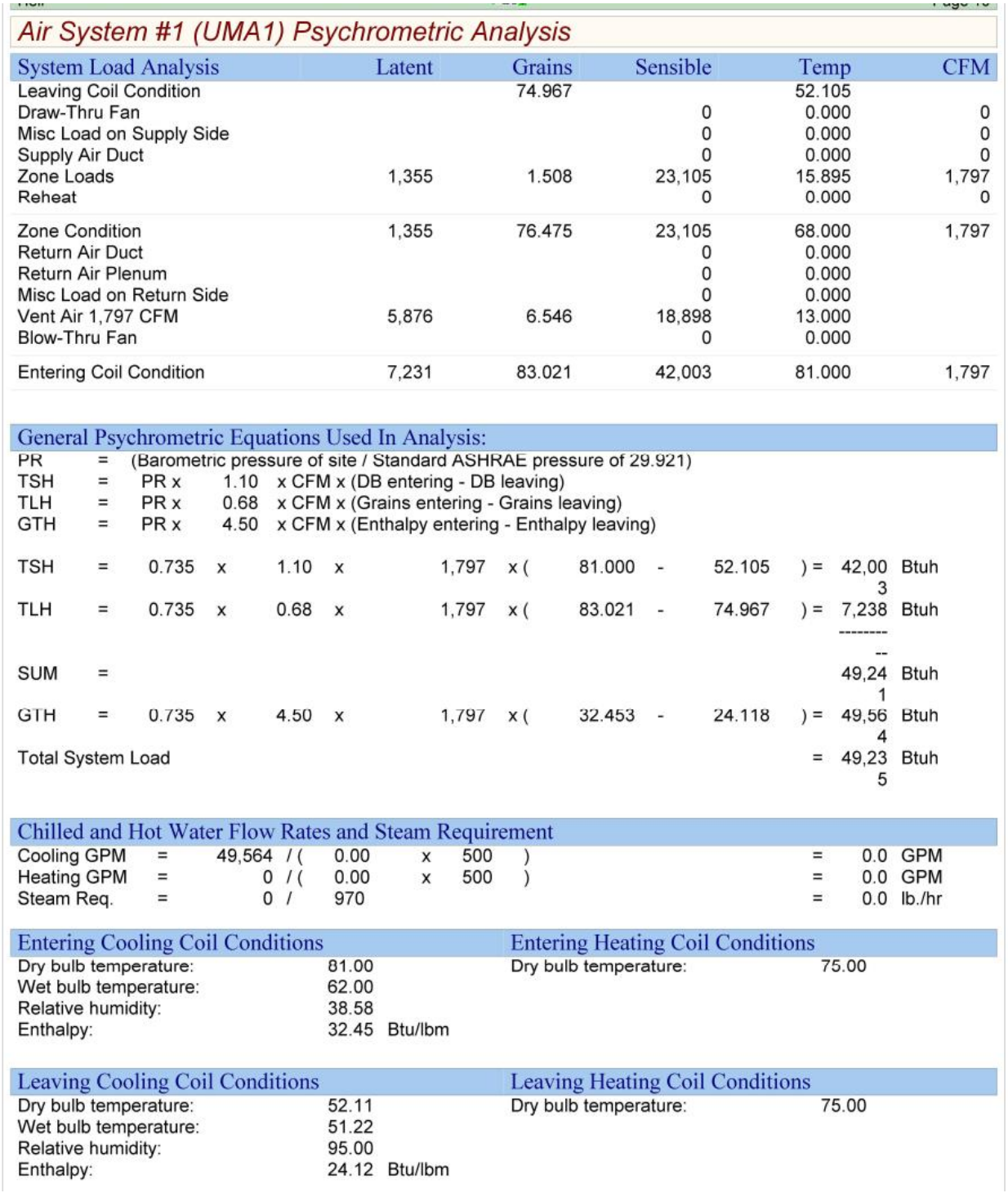



*Nota.* Elaboración Propia empleando el software Elite HVAC.

- Finalmente tenemos los resultados

**Figura 20**

*Resultados Sala de operaciones*



## Air System #1 (UMA1) Psychrometric Analysis

| System Load Analysis | Latent | Grains | Sensible | Temp | CFM |
|---|---|---|---|---|---|
| Leaving Coil Condition | | 74.967 | | 52.105 | |
| Draw-Thru Fan | | | 0 | 0.000 | 0 |
| Misc Load on Supply Side | | | 0 | 0.000 | 0 |
| Supply Air Duct | | | 0 | 0.000 | 0 |
| Zone Loads | 1,355 | 1.508 | 23,105 | 15.895 | 1,797 |
| Reheat | | | 0 | 0.000 | 0 |
| Zone Condition | 1,355 | 76.475 | 23,105 | 68.000 | 1,797 |
| Return Air Duct | | | 0 | 0.000 | |
| Return Air Plenum | | | 0 | 0.000 | |
| Misc Load on Return Side | | | 0 | 0.000 | |
| Vent Air 1,797 CFM | 5,876 | 6.546 | 18,898 | 13.000 | |
| Blow-Thru Fan | | | 0 | 0.000 | |
| Entering Coil Condition | 7,231 | 83.021 | 42,003 | 81.000 | 1,797 |

### General Psychrometric Equations Used In Analysis:

PR = (Barometric pressure of site / Standard ASHRAE pressure of 29.921)
TSH = PR x 1.10 x CFM x (DB entering - DB leaving)
TLH = PR x 0.68 x CFM x (Grains entering - Grains leaving)
GTH = PR x 4.50 x CFM x (Enthalpy entering - Enthalpy leaving)

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TSH | = | 0.735 | x | 1.10 | x | 1,797 | x ( | 81.000 | - | 52.105 | ) = | 42,003 | Btuh |
| TLH | = | 0.735 | x | 0.68 | x | 1,797 | x ( | 83.021 | - | 74.967 | ) = | 7,238 | Btuh |
| SUM | = | | | | | | | | | | | 49,241 | Btuh |
| GTH | = | 0.735 | x | 4.50 | x | 1,797 | x ( | 32.453 | - | 24.118 | ) = | 49,564 | Btuh |
| Total System Load | | | | | | | | | | | = | 49,235 | Btuh |

### Chilled and Hot Water Flow Rates and Steam Requirement

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cooling GPM | = | 49,564 | / ( | 0.00 | x | 500 | ) | = | 0.0 GPM |
| Heating GPM | = | 0 | / ( | 0.00 | x | 500 | ) | = | 0.0 GPM |
| Steam Req. | = | 0 | / | 970 | | | | = | 0.0 lb./hr |

### Entering Cooling Coil Conditions

| | | |
|---|---|---|
| Dry bulb temperature: | 81.00 | |
| Wet bulb temperature: | 62.00 | |
| Relative humidity: | 38.58 | |
| Enthalpy: | 32.45 | Btu/lbm |

### Entering Heating Coil Conditions

| | |
|---|---|
| Dry bulb temperature: | 75.00 |

### Leaving Cooling Coil Conditions

| | | |
|---|---|---|
| Dry bulb temperature: | 52.11 | |
| Wet bulb temperature: | 51.22 | |
| Relative humidity: | 95.00 | |
| Enthalpy: | 24.12 | Btu/lbm |

### Leaving Heating Coil Conditions

| | |
|---|---|
| Dry bulb temperature: | 75.00 |

*Nota.* Elaboración Propia empleando el software Elite HVAC.

**3.3.1.3 Comparación entre cálculo analítico y por Software.** Al comprar los resultados tenemos una variación del 2.29% ya que los métodos manuales son menos precisos, requieren de conversiones de unidades, pérdida de precisión por los decimales usados, especialmente en los cálculos de contenido de humedad por kilogramo de aire seco, este error es aceptable por lo tanto el resto de ambientes se calculará solo por el software, ya que el procedimiento es repetitivo, con ligeras variaciones dependiendo de las paredes expuestas al sol, la geometría, los equipos y luminarias presentes y finalmente las renovaciones de aire muy importantes en ambientes hospitalarios.

**Tabla 14**

*Resultados entre cálculos analíticos y por software*

| Tipo de carga | Cálculo analítico | Cálculo por Software |
|---|---|---|
| | BTU/hr | BTU/hr |
| Sensible | 40655.20 | 42003.00 |
| Latente | 8871.568 | 7231.00 |
| Total | 49526.768 | 49234.00 |
| Diferencia | 0.59% | |

*Nota.* Elaboración Propia.

### *3.3.2 Resumen de cálculos térmicos*

El cálculo detallado, se encuentra en el anexo 01, la siguiente tabla muestra los siguientes cálculos.

## 3.4 Diseño de sistema de ductos.

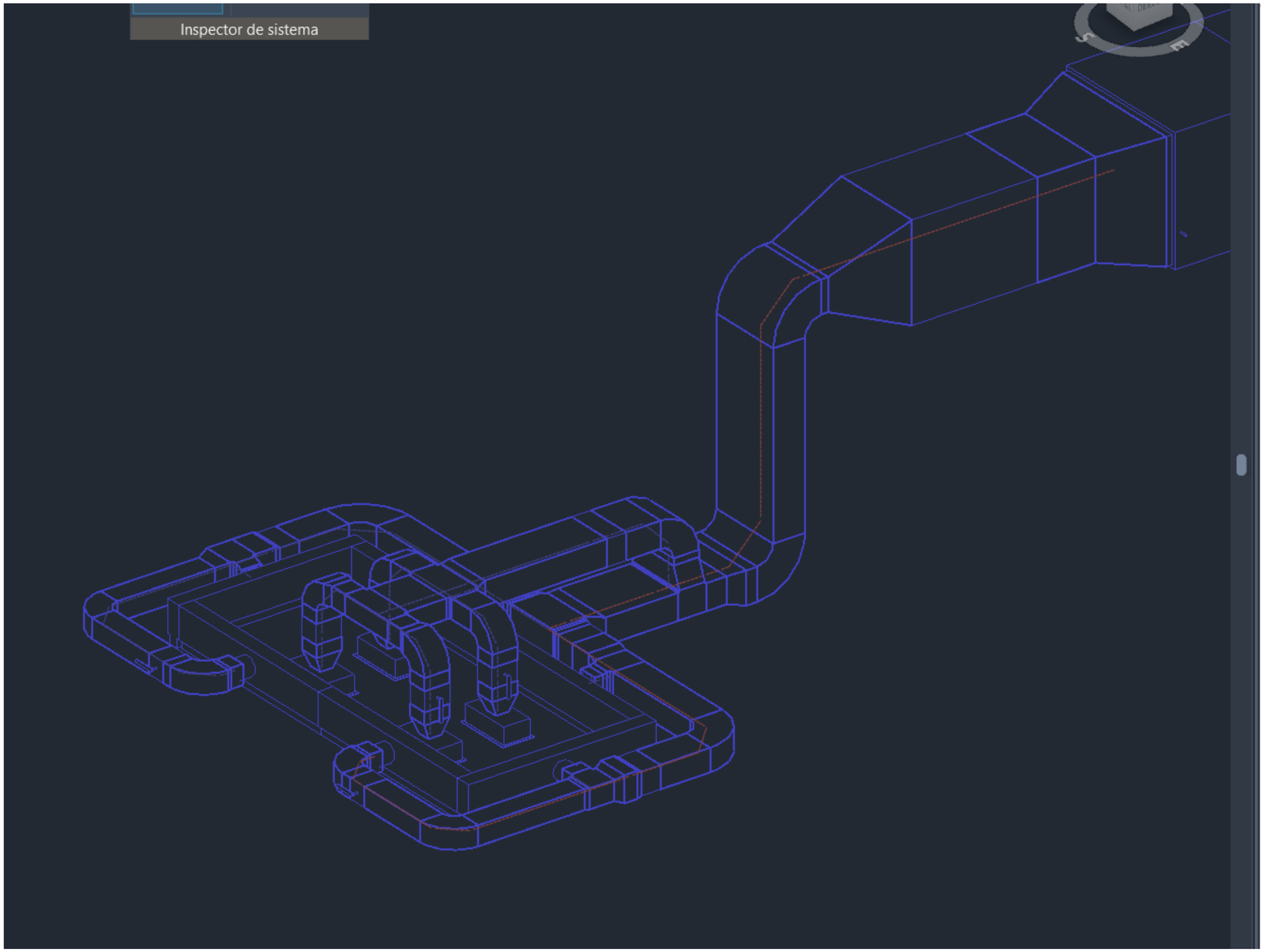
El procedimiento de diseño se realizará en el software Revit, para comprobar que los resultados son los correctos, se elaborará una hoja en Excel en el cual se programe el procedimiento descrito en el marco teórico sección 2.6.2

### *3.4.1 Diseño de suministro de aire acondicionado en Sala de Operaciones*

La ruta crítica del sistema será determinada por el software Revit, esto se muestra en la **Figura 21** donde tenemos etiquetamos los ductos y los accesorios, así como las uniones que siguen esta ruta, por simple inspección visual se tiene que la ruta más larga es la que concentra la mayor cantidad de perdidas, el ser simétrico en uno de los ejes, las mayores pérdidas las concentran las salidas de los difusores más alejados. Los difusores lineales tienen una carga de 180 cfm cada uno, son un total de 6 difusores, teniendo un flujo de 1080 CFM (60% del fujo debe estar en los difusores lineales según las recomendaciones de ASHRAE 170-2008), el resto del fujo 720 cfm se distribuyen en las 4 rejillas centrales, cada rejilla 180 CFM, esto se ven mejor en los planos Anexo 5

**Figura 21**

*Ruta Crítica Sala de Operaciones*




*Nota.* Elaboración Propia, en líneas rojas punteadas, se ve el recorrido de la ruta crítica.

Las etiquetas tienen el código ID de Revit, es un código único que presenta cada objeto en Revit, ideal para realizar metrados e identificación de elementos, el sistema que se creó para sala de operaciones se muestra en la Tabla 15

**Tabla 15**

*Clasificación del sistema HVAC*

| Clasificación del sistema | Suministro de Aire |
|---|---|
| Tipo de Sistema | Suministro Aire Acondicionado |
| Nombre de Sistema | Suministro Aire Acondicionado 2 |

*Nota.* Elaboración Propia.

#### 3.4.1.1 Cálculo de caída de Presión en ductos Sala de operaciones en Revit.

Revit muestra un informe de cálculos, tanto para los ductos rectos, para las uniones y finalmente para los accesorios, como compuertas y filtros, para los accesorios se empleará el método de ASHRAE 2001 Fundamentals Handbook (SI), en este manual tenemos códigos para los diferentes ductos, los cuales se mostrarán en la Tabla 16, la ruta crítica está de color rojo

**Tabla 16**

*Pérdidas de presión en sala de operaciones*

| Sección | Elemento | Flujo | Tamaño | Velocidad | Presión de velocidad | Longitud | Coeficiente de pérdida | Fricción | Número de Reynolds | Pérdida de presión total | Pérdida de presión en la sección |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Conducto | 180 | 6"x6" | 720 | - | 97 | - | 0.12251 | 29353.887 | 0.00039 | 0.20039 |
| | Terminal de aire | 180 | - | - | - | - | - | - | - | 0.2 | ~ |
| 2 | Conducto | 180 | 7"x6" | 617.1 | - | 1471 | - | 0.08512 | 27095.895 | 0.00411 | 0.08878 |
| | Uniones | 180 | - | 617.1 | 0.01896 | - | 4.46 | - | - | 0.08468 | ~ |
| 3 | Uniones | 180 | - | 324 | 0.00523 | - | 0.457 | - | - | 0.00317 | 0.00317 |
| 4 | Conducto | 360 | 10"x8" | 648 | - | 164 | - | 0.0623 | 39138.517 | 0.00034 | 0.00034 |
| | Uniones | 360 | - | 648 | 0.0209 | - | 0 | - | - | 0 | ~ |
| 5 | Conducto | 360 | 10"x7" | 740.6 | - | 1238 | - | 0.08717 | 41440.779 | 0.00354 | 0.12623 |
| | Uniones | 360 | - | 740.6 | 0.0273 | - | 4.540667 | - | - | 0.12269 | ~ |
| 6 | Uniones | 540 | - | 1110.9 | 0.06143 | - | 0.026667 | - | - | 0.00164 | 0.00164 |
| 7 | Conducto | 540 | 10"x9" | 864 | - | 154 | - | 0.09661 | 55617.889 | 0.00049 | 0.14913 |
| | Uniones | 540 | - | 864 | 0.03716 | - | 4 | - | - | 0.14864 | ~ |
| 8 | Uniones | 540 | - | 777.6 | 0.0301 | - | 1.605556 | - | - | 0.04833 | 0.04833 |
| 9 | Conducto | 540 | 10"x10" | 777.6 | - | 27 | - | 0.07454 | 52836.995 | 0.00007 | 0.04371 |
| | Uniones | 540 | - | 777.6 | 0.0301 | - | 1.45 | - | - | 0.04364 | ~ |
| 10 | Conducto | 540 | 10"x9" | 864 | - | 171 | - | 0.09604 | 55617.89 | 0.00054 | 0.14963 |
| | Uniones | 540 | - | 864 | 0.03716 | - | 4.012 | - | - | 0.14909 | ~ |
| 11 | Uniones | 540 | - | 1110.9 | 0.06143 | - | 0.026667 | - | - | 0.00164 | 0.00164 |
| 12 | Conducto | 360 | 10"x7" | 740.6 | - | 1238 | - | 0.0867 | 41440.781 | 0.00354 | 0.12599 |
| | Uniones | 360 | - | 740.6 | 0.0273 | - | 4.529238 | - | - | 0.12245 | ~ |
| 13 | Conducto | 360 | 10"x8" | 648 | - | 102 | - | 0.0626 | 39138.516 | 0.00021 | 0.00021 |
| 14 | Uniones | 360 | - | 1080 | 0.05806 | - | 0.88 | - | - | 0.01839 | 0.01839 |
| 15 | Uniones | 180 | - | 540 | 0.01452 | - | 0.415 | - | - | 0.00609 | 0.00609 |
| 16 | Conducto | 180 | 7"x6" | 617.1 | - | 1533 | - | 0.0847 | 27095.896 | 0.00428 | 0.08895 |
| | Uniones | 180 | - | 617.1 | 0.01896 | - | 4.46 | - | - | 0.08468 | ~ |
| 17 | Conducto | 180 | 6"x6" | 720 | - | 97 | - | 0.12251 | 29353.887 | 0.00039 | 0.20039 |
| | Terminal de aire | 180 | - | - | - | - | - | - | - | 0.2 | ~ |

| Sección | Elemento | Flujo | Tamaño | Velocidad | Presión de velocidad | Longitud | Coeficiente de pérdida | Fricción | Número de Reynolds | Pérdida de presión total | Pérdida de presión en la sección |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 18 | Conducto | 180 | 6"x6" | 720 | - | 98 | - | 0.12182 | 29353.887 | 0.0004 | 0.25717 |
| | Uniones | 180 | - | 720 | 0.02581 | - | 2.2 | - | - | 0.05677 | ~ |
| | Terminal de aire | 180 | - | - | - | - | - | - | - | 0.2 | ~ |
| 19 | Uniones | 180 | - | 617.1 | 0.01896 | - | 3.723334 | - | - | 0.07059 | 0.07059 |
| 20 | Conducto | 180 | 6"x6" | 720 | - | 67 | - | 0.12251 | 29353.887 | 0.00027 | 0.20027 |
| | Terminal de aire | 180 | - | - | - | - | - | - | - | 0.2 | ~ |
| 21 | Uniones | 1080 | - | 972 | 0.04703 | - | 0 | - | - | 0 | 0 |
| 22 | Conducto | 1080 | 20"x8" | 972 | - | 578 | - | 0.09428 | 75481.422 | 0.0018 | 0.01027 |
| | Uniones | 1080 | - | 972 | 0.04703 | - | 0.18 | - | - | 0.00847 | ~ |
| 23 | Conducto | 1800 | 20"x8" | 1620 | - | 160 | - | 0.23535 | 125802.36 | 0.00125 | 0.03957 |
| | Uniones | 1800 | - | 1620 | 0.13064 | - | 0.66 | - | - | 0.03832 | ~ |
| 24 | Conducto | 1800 | 24"x10" | 1080 | - | 1555 | - | 0.08871 | 103601.94 | 0.00453 | 0.02543 |
| | Uniones | 1800 | - | 1080 | 0.05806 | - | 0.36 | - | - | 0.0209 | ~ |
| 25 | Uniones | 1800 | - | 288 | 0.00413 | - | 8.285 | - | - | 0.03421 | 0.43421 |
| | Equipos | 1800 | - | - | - | - | - | - | - | 0.4 | ~ |
| 26 | Conducto | 1800 | 30"x30" | 288 | - | 470 | - | 0.00334 | 58707.777 | 0.00005 | 0.00005 |
| | Equipos | 1800 | - | - | - | - | - | - | - | 0 | ~ |
| 27 | Uniones | 1800 | - | 159.2 | 0.00126 | - | 1.067733 | - | - | 0.00135 | 0.00135 |
| | Equipos | 1800 | - | - | - | - | - | - | - | 0 | ~ |
| 28 | Uniones | 720 | - | 648 | 0.0209 | - | 5.836666 | - | - | 0.122 | 0.122 |
| 29 | Conducto | 720 | 15"x8" | 864 | - | 1306 | - | 0.08536 | 61260.284 | 0.00368 | 0.1591 |
| | Uniones | 720 | - | 864 | 0.03716 | - | 4.1825 | - | - | 0.15542 | ~ |
| 30 | Uniones | 720 | - | 1080 | 0.05806 | - | 0.33 | - | - | 0.01226 | 0.01226 |
| 31 | Conducto | 360 | 16"x6" | 540 | - | 312 | - | 0.04616 | 32022.424 | 0.00047 | 0.00628 |
| | Uniones | 360 | - | 540 | 0.01452 | - | 0.4 | - | - | 0.00581 | ~ |
| 32 | Conducto | 180 | 6"x6" | 720 | - | 141 | - | 0.12182 | 29353.887 | 0.00057 | 0.01831 |
| | Uniones | 180 | - | 720 | 0.02581 | - | 0.6875 | - | - | 0.01774 | ~ |
| 33 | Conducto | 180 | 6"x8" | 540 | - | 190 | - | 0.06247 | 25160.476 | 0.00039 | 0.06808 |
| | Uniones | 180 | - | 540 | 0.01452 | - | 4.663333 | - | - | 0.06769 | ~ |
| 34 | Uniones | 180 | - | 1672.3 | 0.1392 | - | 0.06 | - | - | 0.00835 | 0.08835 |

| Sección | Elemento | Flujo | Tamaño | Velocidad | Presión de velocidad | Longitud | Coeficiente de pérdida | Fricción | Número de Reynolds | Pérdida de presión total | Pérdida de presión en la sección |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Terminal de aire | 180 | - | - | - | - | - | - | - | 0.08 | ~ |
| 35 | Conducto | 180 | 6"x6" | 720 | - | 141 | - | 0.12182 | 29353.887 | 0.00057 | 0.01831 |
| | Uniones | 180 | - | 720 | 0.02581 | - | 0.6875 | - | - | 0.01774 | ~ |
| 36 | Conducto | 180 | 6"x8" | 540 | - | 190 | - | 0.06247 | 25160.476 | 0.00039 | 0.06808 |
| | Uniones | 180 | - | 540 | 0.01452 | - | 4.663333 | - | - | 0.06769 | ~ |
| 37 | Uniones | 180 | - | 1672.3 | 0.1392 | - | 0.06 | - | - | 0.00835 | 0.08835 |
| | Terminal de aire | 180 | - | - | - | - | - | - | - | 0.08 | ~ |
| 38 | Conducto | 180 | 6"x8" | 540 | - | 392 | - | 0.06219 | 25160.475 | 0.0008 | 0.12958 |
| | Uniones | 180 | - | 540 | 0.01452 | - | 8.871666 | - | - | 0.12878 | ~ |
| 39 | Uniones | 180 | - | 1672.3 | 0.1392 | - | 0.06 | - | - | 0.00835 | 0.08835 |
| | Terminal de aire | 180 | - | - | - | - | - | - | - | 0.08 | ~ |
| 40 | Conducto | 180 | 6"x8" | 540 | - | 392 | - | 0.06247 | 25160.476 | 0.0008 | 0.12958 |
| | Uniones | 180 | - | 540 | 0.01452 | - | 8.871666 | - | - | 0.12878 | ~ |
| 41 | Uniones | 180 | - | 1672.3 | 0.1392 | - | 0.06 | - | - | 0.00835 | 0.08835 |
| | Terminal de aire | 180 | - | - | - | - | - | - | - | 0.08 | ~ |
| 42 | Uniones | 180 | - | 617.1 | 0.01896 | - | 3.723334 | - | - | 0.07059 | 0.07059 |
| 43 | Conducto | 180 | 6"x6" | 720 | - | 67 | - | 0.12251 | 29353.887 | 0.00027 | 0.20027 |
| | Terminal de aire | 180 | - | - | - | - | - | - | - | 0.2 | ~ |
| 44 | Uniones | 180 | - | 540 | 0.01452 | - | 1.68 | - | - | 0.02472 | 0.02472 |
| 45 | Conducto | 180 | 6"x6" | 720 | - | 12 | - | 0.12251 | 29353.888 | 0.00005 | 0.20005 |
| Ruta crítica: 9-10-11-12-13-14-15-16-17-21-22-23-24-25-26-27; Pérdida de presión total: 1.14587 in-wg=285.14 Pa | | | | | | | | | | | |

*Nota.* Elaboración Propia, los ductos y accesorios se muestran por secciones de tramo.

**Tabla 17**

*Presión en ductos rectos*

| Tramo | ID de elemento | Flujo (CFM) | Tamaño | Velocidad (FPM) | Presión de velocidad (in-wg) | Longitud (mm) | Ruta crítica | Número de Reynolds | Pérdida de presión (in-wg) | Pérdida de presión total (in-wg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 927389 | 180 | 6"x6" | 720 | 0.02581 | 97 | No | 29354 | 0.00039 | 0.00039 |
| 2 | 813384 | 180 | 7"x6" | 617.1 | 0.01896 | 784 | No | 27096 | 0.00219 | 0.00411 |
| | 962686 | 180 | 7"x6" | 617.1 | 0.01896 | 616 | No | 27096 | 0.00172 | ~ |
| | 1037674 | 180 | 7"x6" | 617.1 | 0.01896 | 71 | No | 27096 | 0.0002 | ~ |
| 4 | 816360 | 360 | 10"x8" | 648 | 0.0209 | 164 | No | 39139 | 0.00034 | 0.00034 |
| 5 | 816712 | 360 | 10"x7" | 740.6 | 0.0273 | 840 | No | 41441 | 0.0024 | 0.00354 |
| | 962667 | 360 | 10"x7" | 740.6 | 0.0273 | 398 | No | 41441 | 0.00114 | ~ |
| 7 | 816762 | 540 | 10"x9" | 864 | 0.03716 | 114 | No | 55618 | 0.00036 | 0.00049 |
| | 1038177 | 540 | 10"x9" | 864 | 0.03716 | 40 | No | 55618 | 0.00013 | ~ |
| 9 | 944884 | 540 | 10"x10" | 777.6 | 0.0301 | 27 | Sí | 52837 | 0.00007 | 0.00007 |
| 10 | 935332 | 540 | 10"x9" | 864 | 0.03716 | 171 | Sí | 55618 | 0.00054 | 0.00054 |
| 12 | 816740 | 360 | 10"x7" | 740.6 | 0.0273 | 840 | Sí | 41441 | 0.0024 | 0.00354 |
| | 962709 | 360 | 10"x7" | 740.6 | 0.0273 | 398 | Sí | 41441 | 0.00114 | ~ |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 13 | 816326 | 360 | 10"x8" | 648 | 0.0209 | 102 | Sí | 39139 | 0.00021 | 0.00021 |
| 16 | 816271 | 180 | 7"x6" | 617.1 | 0.01896 | 846 | Sí | 27096 | 0.00236 | 0.00428 |
| | 962724 | 180 | 7"x6" | 617.1 | 0.01896 | 602 | Sí | 27096 | 0.00168 | ~ |
| | 1037732 | 180 | 7"x6" | 617.1 | 0.01896 | 85 | Sí | 27096 | 0.00024 | ~ |
| 17 | 927702 | 180 | 6"x6" | 720 | 0.02581 | 97 | Sí | 29354 | 0.00039 | 0.00039 |
| 18 | 927264 | 180 | 6"x6" | 720 | 0.02581 | 98 | No | 29354 | 0.0004 | 0.0004 |
| 20 | 945156 | 180 | 6"x6" | 720 | 0.02581 | 67 | No | 29354 | 0.00027 | 0.00027 |
| 22 | 949069 | 1080 | 20"x8" | 972 | 0.04703 | 578 | Sí | 75481 | 0.0018 | 0.0018 |
| 23 | 1039270 | 1800 | 20"x8" | 1620 | 0.13064 | 160 | Sí | 125802 | 0.00125 | 0.00125 |
| 24 | 823774 | 1800 | 24"x10" | 1080 | 0.05806 | 1411 | Sí | 103602 | 0.00411 | 0.00453 |
| | 948809 | 1800 | 24"x10" | 1080 | 0.05806 | 58 | Sí | 103602 | 0.00017 | ~ |
| | 1036152 | 1800 | 24"x10" | 1080 | 0.05806 | 86 | Sí | 103602 | 0.00025 | ~ |
| 26 | 1045142 | 1800 | 30"x30" | 288 | 0.00413 | 470 | Sí | 58708 | 0.00005 | 0.00005 |
| 29 | 945972 | 720 | 15"x8" | 864 | 0.03716 | 276 | No | 61260 | 0.00078 | 0.00368 |
| | 947114 | 720 | 15"x8" | 864 | 0.03716 | 978 | No | 61260 | 0.00276 | ~ |
| | 1038658 | 720 | 8"x15" | 864 | 0.03716 | 52 | No | 61260 | 0.00015 | ~ |
| 31 | 1097643 | 360 | 16"x6" | 540 | 0.01452 | 312 | No | 32022 | 0.00047 | 0.00047 |
| 32 | 1102372 | 180 | 6"x6" | 720 | 0.02581 | 141 | No | 29354 | 0.00057 | 0.00057 |
| 33 | 825239 | 180 | 6"x8" | 540 | 0.01452 | 95 | No | 25160 | 0.00019 | 0.00039 |
| | 1100859 | 180 | 6"x8" | 540 | 0.01452 | 95 | No | 25160 | 0.00019 | ~ |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 35 | 1102454 | 180 | 6"x6" | 720 | 0.02581 | 141 | No | 29354 | 0.00057 | 0.00057 |
| 36 | 1101302 | 180 | 6"x8" | 540 | 0.01452 | 95 | No | 25160 | 0.00019 | 0.00039 |
| | 1101311 | 180 | 6"x8" | 540 | 0.01452 | 95 | No | 25160 | 0.00019 | ~ |
| 38 | 1101301 | 180 | 6"x8" | 540 | 0.01452 | 95 | No | 25160 | 0.00019 | 0.0008 |
| | 1101309 | 180 | 6"x8" | 540 | 0.01452 | 95 | No | 25160 | 0.00019 | ~ |
| | 1101312 | 180 | 8"x6" | 540 | 0.01452 | 202 | No | 25160 | 0.00041 | ~ |
| 40 | 825222 | 180 | 6"x8" | 540 | 0.01452 | 95 | No | 25160 | 0.00019 | 0.0008 |
| | 1100838 | 180 | 6"x8" | 540 | 0.01452 | 95 | No | 25160 | 0.00019 | ~ |
| | 1100999 | 180 | 8"x6" | 540 | 0.01452 | 202 | No | 25160 | 0.00041 | ~ |
| 43 | 945136 | 180 | 6"x6" | 720 | 0.02581 | 67 | No | 29354 | 0.00027 | 0.00027 |
| 45 | 944594 | 180 | 6"x6" | 720 | 0.02581 | 12 | No | 29354 | 0.00005 | 0.00005 |
| Ruta crítica: 9-10-11-12-13-14-15-16-17-21-22-23-24-25-26-27; Pérdida de presión total: 1.14587 in-wg=285.14 Pa | | | | | | | | | | |

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 18**

*Pérdidas de Presión en accesorios y uniones*

| Sección | ID de elemento | Código Tabla ASHRAE | Coeficiente de pérdida | Ruta Critica | Pérdida de presión (in-wg) | Pérdida de presión total (in-wg) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 816198 | CR3-1 | 0.221429 | No | 0.0042 | 0.08468 |
| | 816199 | CR3-1 | 0.221429 | No | 0.0042 | ~ |
| | 962684 | Damper | 4 | No | 0.07584 | ~ |
| | 1037443 | SR4-2 | 0.017143 | No | 0.00044 | ~ |
| 3 | 816359 | SR5-5 | 0.4 | No | 0.00209 | 0.00317 |
| | 1103268 | SR4-2 | 0.057 | No | 0.00108 | ~ |
| 4 | 816359 | SR5-5 | 0 | No | 0 | 0 |
| 5 | 816719 | CR3-1 | 0.234 | No | 0.00639 | 0.12269 |
| | 816761 | SR5-5 | 0.106667 | No | 0.00291 | ~ |
| | 962665 | Damper | 4 | No | 0.1092 | ~ |
| | 1103285 | SR4-1 | 0.2 | No | 0.00418 | ~ |
| 6 | 816761 | SR5-5 | 0 | No | 0 | 0.00164 |
| | 1037980 | SR4-2 | 0.026667 | No | 0.00164 | ~ |
| 7 | 935108 | Damper | 4 | No | 0.14864 | 0.14864 |
| 8 | 823099 | SR5-15 | 1.45 | Sí | 0.04364 | 0.04833 |
| | 1038193 | SR4-1 | 0.155556 | No | 0.00468 | ~ |
| 9 | 823099 | SR5-15 | 1.45 | Sí | 0.04364 | 0.04364 |
| 10 | 935330 | Damper | 4 | Sí | 0.14864 | 0.14909 |
| | 1103193 | SR4-1 | 0.012 | Sí | 0.00045 | ~ |
| 11 | 816739 | SR5-5 | 0 | Sí | 0 | 0.00164 |
| | 1037995 | SR4-2 | 0.026667 | Sí | 0.00164 | ~ |
| 12 | 813385 | CR3-1 | 0.234 | Sí | 0.00639 | 0.12245 |
| | 816739 | SR5-5 | 0.106667 | Sí | 0.00291 | ~ |
| | 962707 | Damper | 4 | Sí | 0.1092 | ~ |
| | 1037784 | SR4-2 | 0.188571 | Sí | 0.00394 | ~ |

| Sección | ID de elemento | Código Tabla ASHRAE | Coeficiente de pérdida | Ruta Critica | Pérdida de presión (in-wg) | Pérdida de presión total (in-wg) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 14 | 816325 | SR5-5 | 0 | Sí | 0 | 0.01839 |
| | 945460 | SR4-2 | 0.88 | Sí | 0.01839 | ~ |
| 15 | 816325 | SR5-5 | 0.4 | Sí | 0.00581 | 0.00609 |
| | 1037479 | SR4-2 | 0.015 | Sí | 0.00028 | ~ |
| 16 | 816197 | CR3-1 | 0.221429 | Sí | 0.0042 | 0.08468 |
| | 816278 | CR3-1 | 0.221429 | Sí | 0.0042 | ~ |
| | 962722 | Damper | 4 | Sí | 0.07584 | ~ |
| | 1037488 | SR4-2 | 0.017143 | Sí | 0.00044 | ~ |
| 18 | 816325 | SR5-5 | 2.2 | Sí | 0.05677 | 0.05677 |
| 19 | 816739 | SR5-5 | 3.49 | Sí | 0.06617 | 0.07059 |
| | 1037895 | SR4-1 | 0.233333 | No | 0.00442 | ~ |
| 21 | 823099 | SR5-15 | 0 | Sí | 0 | 0 |
| 22 | 949066 | SR5-5 | 0.18 | Sí | 0.00847 | 0.00847 |
| | 1038230 | SR4-2 | 0 | Sí | 0 | ~ |
| 23 | 949066 | SR5-5 | 0 | Sí | 0 | 0.03832 |
| | 1092150 | SR4-2 | 0.66 | Sí | 0.03832 | ~ |
| 24 | 1036312 | CR3-1 | 0.18 | Sí | 0.01045 | 0.0209 |
| | 1039256 | CR3-1 | 0.18 | Sí | 0.01045 | ~ |
| 25 | 1036466 | SR4-2 | 8.285 | Sí | 0.03421 | 0.03421 |
| 27 | 1045158 | SR4-2 | 1.067733 | Sí | 0.00135 | 0.00135 |
| 28 | 949066 | SR5-5 | 5.369999 | Sí | 0.11225 | 0.122 |
| | 1038993 | SR4-1 | 0.466667 | No | 0.00975 | ~ |
| 29 | 945182 | Damper | 4 | No | 0.14864 | 0.15542 |
| | 1038955 | CR3-1 | 0.1825 | No | 0.00678 | ~ |
| 30 | 947475 | SR5-21 | 0 | No | 0 | 0.01226 |
| | 1035504 | SR4-2 | 0.33 | No | 0.01226 | ~ |
| 31 | 947475 | SR5-21 | 0.4 | No | 0.00581 | 0.00581 |
| | 947597 | SR5-15 | 0 | No | 0 | ~ |

| Sección | ID de elemento | Código Tabla ASHRAE | Coeficiente de pérdida | Ruta Critica | Pérdida de presión (in-wg) | Pérdida de presión total (in-wg) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 32 | 947597 | SR5-15 | 0.6875 | No | 0.01774 | 0.01774 |
| 33 | 825249 | CR3-1 | 0.196667 | No | 0.00285 | 0.06769 |
| | 1100857 | Damper | 4 | No | 0.05806 | ~ |
| | 1102451 | SR4-1 | 0.466667 | No | 0.00677 | ~ |
| 34 | 948336 | SR4-2 | 0.06 | No | 0.00835 | 0.00835 |
| 35 | 947597 | SR5-15 | 0.6875 | No | 0.01774 | 0.01774 |
| 36 | 1101303 | CR3-1 | 0.196667 | No | 0.00285 | 0.06769 |
| | 1101310 | Damper | 4 | No | 0.05806 | ~ |
| | 1102518 | SR4-1 | 0.466667 | No | 0.00677 | ~ |
| 37 | 1101306 | SR4-2 | 0.06 | No | 0.00835 | 0.00835 |
| 38 | 947475 | SR5-21 | 4.674999 | No | 0.06786 | 0.12878 |
| | 1101308 | Damper | 4 | No | 0.05806 | ~ |
| | 1101336 | CR3-1 | 0.196667 | No | 0.00285 | ~ |
| 39 | 1101305 | SR4-2 | 0.06 | No | 0.00835 | 0.00835 |
| 40 | 947453 | CR3-1 | 0.196667 | No | 0.00285 | 0.12878 |
| | 947475 | SR5-21 | 4.674999 | No | 0.06786 | ~ |
| | 1100836 | Damper | 4 | No | 0.05806 | ~ |
| 41 | 947862 | SR4-2 | 0.06 | No | 0.00835 | 0.00835 |
| 42 | 816761 | SR5-5 | 3.49 | No | 0.06617 | 0.07059 |
| | 1037932 | SR4-1 | 0.233333 | No | 0.00442 | ~ |
| 44 | 816359 | SR5-5 | 1.65 | No | 0.02395 | 0.02472 |
| | 1103269 | SR4-1 | 0.03 | No | 0.00077 | ~ |

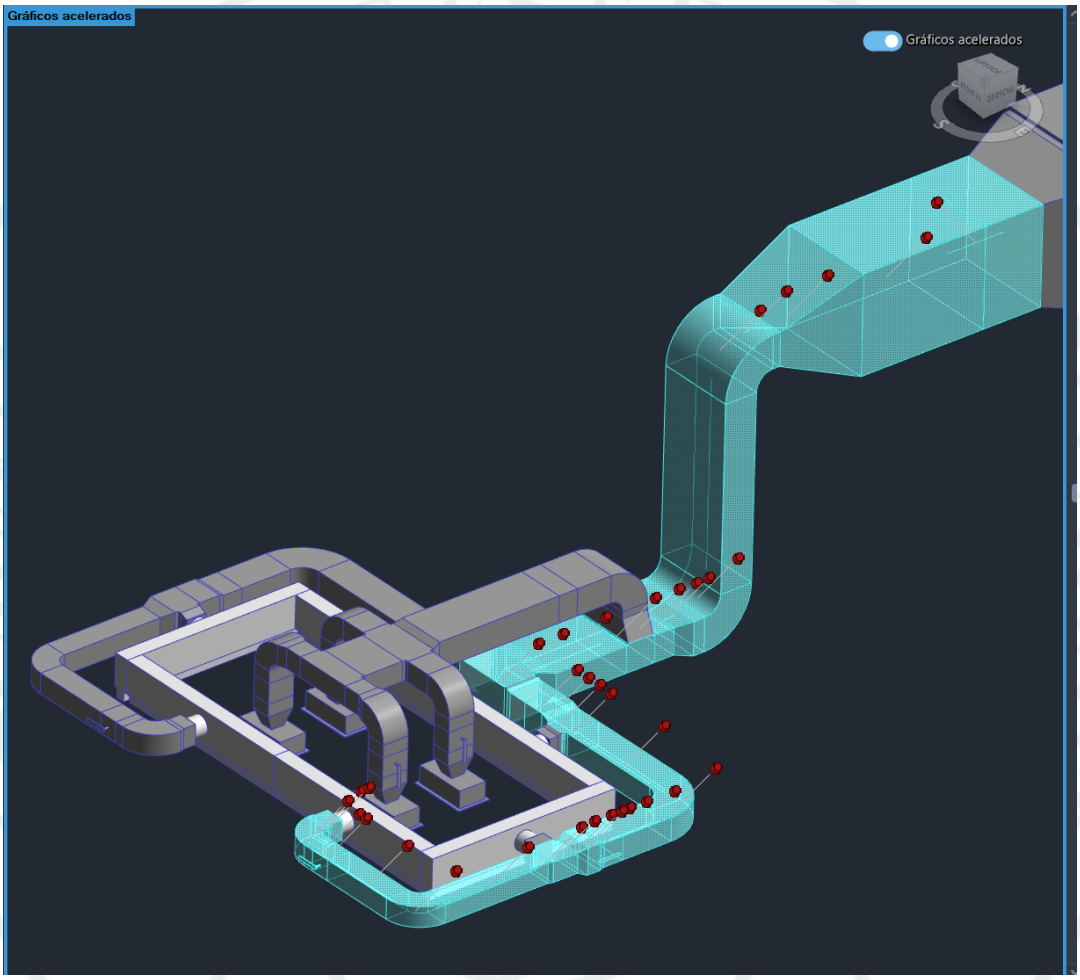
*Nota.* Elaboración Propia empleando el software Revit, las filas en color rojo corresponden a la ruta crítica.

**3.4.1.2 Comprobación de cálculos de ductos.** Para los cálculos manuales se empleare una hoja de Excel programable, en el cual se calculará la ruta crítica, primero se

evaluarán los datos tramos rectos que son conformados por los tramos: 9, 10, 12, 13, 16, 17, 22, 23, 24, 26 luego los accesorios conformados por los tramos: 8, 9,10 ,11 ,12 ,14, 15, 16, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28.

**Figura 22**

*Ruta Critica selección en software*




*Nota.* Elaboración Propia empleando el software Revit, los identificadores ID, ayudan a encontrar los elementos de la tabla de caídas de presión, tanto para ductos como para accesorios.

- Cálculo de ducto recto tramo 9

**Tabla 19**

*Cálculo ducto recto tramo 9*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ENTRADAS EN IMPERIALES | | | | |
| Anchura W | 10 | in | | |
| Altura H | 10 | in | | |
| Longitud L | 0.089 | ft | | |
| Flujo q | 540 | cfm | | |
| Rugosidad ε | 0.0003 | in | | |
| CONVERSIÓN AUTOMÁTICA A UNIDADES MÉTRICAS | | | | |
| W (SI) | 0.254 | m | | |
| H (SI) | 0.254 | m | | |
| L (SI) | 0.0269748 | m | | |
| q (SI) | 0.254851623 | $m^3/s$ | | |
| ε (SI) | 0.00000762 | m | | |
| PROPIEDADES DEL AIRE ESTÁNDAR A 54°F (12°C, a 2562 m.s.n.m) | | | | |
| Densidad ρ | 0.96 | $kg/m^3$ | | |
| Viscosidad dinámica μ | 0.00001823 | Pa·s | | |
| Viscosidad cinemática ν | 1.89896E-05 | $m^2/s$ | | |
| GEOMETRÍA DEL DUCTO Y RESULTADOS HIDRÁULICOS | | | | |
| Área Ac | 0.0645 | $m^2$ | 0.6944 | $ft^2$ |
| Perímetro mojado P | 1.0160 | m | 3.3333 | ft |
| Diámetro hidráulico Dh | 0.2540 | m | 10.0000 | in |
| Diámetro equivalente De | 0.2777 | m | 10.9317 | in |
| Velocidad media Vc | 3.9502 | m/s | 777.6000 | ft/min |
| Número de Reynolds Reh | 52837 | - | | |
| Estado de flujo | Turbulento | | | |
| Factor de fricción f | 0.0206322 | | | |
| Presión de velocidad Pv | 7.489989 | Pa | 0.0301 | in.wg |
| Pérdida por fricción ΔPf | 0.0164116 | Pa | 0.000066 | in.wg |
| Pérdida de carga total ΔP | 0.0164116 | Pa | 0.000066 | in.wg |
| Caída de presión por 10 m | 6.0840646 | Pa/10 m | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Caída de presión por 100 ft | 18.544229 | Pa/100 ft | 0.0744 | in.wg/100 ft |

*Nota.* Elaboración Propia.

- Cálculo de ducto recto tramo 10

**Tabla 20**

*Cálculo ducto recto tramo 10*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ENTRADAS EN IMPERIALES | | | | |
| Anchura W | 10 | in | | |
| Altura H | 9 | in | | |
| Longitud L | 0.561 | ft | | |
| Flujo q | 540 | cfm | | |
| Rugosidad ε | 0.0003 | in | | |
| CONVERSIÓN AUTOMÁTICA A UNIDADES MÉTRICAS | | | | |
| W (SI) | 0.254 | m | | |
| H (SI) | 0.2286 | m | | |
| L (SI) | 0.17100804 | m | | |
| q (SI) | 0.254851623 | $m^3/s$ | | |
| ε (SI) | 0.00000762 | m | | |
| PROPIEDADES DEL AIRE ESTÁNDAR A 54°F (12°C, a 2562 m.s.n.m) | | | | |
| Densidad ρ | 0.96 | $kg/m^3$ | | |
| Viscosidad dinámica μ | 0.00001823 | Pa·s | | |
| Viscosidad cinemática ν | 1.89896E-05 | $m^2/s$ | | |
| GEOMETRÍA DEL DUCTO Y RESULTADOS HIDRÁULICOS | | | | |
| Área Ac | 0.0581 | $m^2$ | 0.6250 | $ft^2$ |
| Perímetro mojado P | 0.9652 | m | 3.1667 | ft |
| Diámetro hidráulico Dh | 0.2406 | m | 9.4737 | in |
| Diámetro equivalente De | 0.2633 | m | 10.3671 | in |
| Velocidad media Vc | 4.3891 | m/s | 864.0000 | ft/min |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Número de Reynolds Reh | 55618 | - | | |
| Estado de flujo | Turbulento | | | |
| Factor de fricción f | 0.0204097 | | | |
| Presión de velocidad Pv | 9.246900 | Pa | 0.0371 | in.wg |
| Pérdida por fricción ΔPf | 0.1341209 | Pa | 0.000538 | in.wg |
| Pérdida de carga total ΔP | 0.1341209 | Pa | 0.000538 | in.wg |
| Caída de presión por 10 m | 7.8429596 | Pa/10 m | | |
| Caída de presión por 100 ft | 23.905341 | Pa/100 ft | 0.0960 | in.wg/100 ft |

*Nota.* Elaboración Propia.

- Cálculo de ducto recto tramo 12

**Tabla 21**

*Cálculo ducto recto tramo 12*

| | | |
|---|---|---|
| ENTRADAS EN IMPERIALES | | |
| Anchura W | 10 | in |
| Altura H | 7 | in |
| Longitud L | 2.756 | ft |
| Flujo q | 360 | cfm |
| Rugosidad ε | 0.0003 | in |
| CONVERSIÓN AUTOMÁTICA A UNIDADES MÉTRICAS | | |
| W (SI) | 0.254 | m |
| H (SI) | 0.1778 | m |
| L (SI) | 0.840040992 | m |
| q (SI) | 0.169901082 | $m^3/s$ |
| ε (SI) | 0.00000762 | m |
| PROPIEDADES DEL AIRE ESTÁNDAR A 54°F (12°C, a 2562 m.s.n.m) | | |
| Densidad ρ | 0.96 | $kg/m^3$ |
| Viscosidad dinámica μ | 0.00001823 | Pa·s |
| Viscosidad cinemática ν | 1.89896E-05 | $m^2/s$ |
| GEOMETRÍA DEL DUCTO Y RESULTADOS HIDRÁULICOS | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Área Ac | 0.0452 | $m^2$ | 0.4861 | $ft^2$ |
| Perímetro mojado P | 0.8636 | m | 2.8333 | ft |
| Diámetro hidráulico Dh | 0.2092 | m | 8.2353 | in |
| Diámetro equivalente De | 0.2314 | m | 9.1100 | in |
| Velocidad media Vc | 3.7621 | m/s | 740.5715 | ft/min |
| Número de Reynolds Reh | 41441 | - | | |
| Estado de flujo | Turbulento | | | |
| Factor de fricción f | 0.0218024 | | | |
| Presión de velocidad Pv | 6.793641 | Pa | 0.0273 | in.wg |
| Pérdida por fricción ΔPf | 0.5948322 | Pa | 0.002388 | in.wg |
| Pérdida de carga total ΔP | 0.5948322 | Pa | 0.002388 | in.wg |
| Caída de presión por 10 m | 7.0809903 | Pa/10 m | | |
| Caída de presión por 100 ft | 21.582859 | Pa/100 ft | 0.0866 | in.wg/100 ft |

*Nota.* Elaboración Propia.

- Cálculo de ducto recto tramo 13

**Tabla 22**

*Cálculo ducto recto Tramo 13*

| | | |
|---|---|---|
| ENTRADAS EN IMPERIALES | | |
| Anchura W | 10 | in |
| Altura H | 8 | in |
| Longitud L | 1.306 | ft |
| Flujo q | 360 | cfm |
| Rugosidad ε | 0.0003 | in |
| CONVERSIÓN AUTOMÁTICA A UNIDADES MÉTRICAS | | |
| W (SI) | 0.254 | m |
| H (SI) | 0.2032 | m |
| L (SI) | 0.398019422 | m |
| q (SI) | 0.169901082 | $m^3/s$ |
| ε (SI) | 0.00000762 | m |

| PROPIEDADES DEL AIRE ESTÁNDAR A 54°F (12°C, a 2562 m.s.n.m) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Densidad ρ | 0.96 | $kg/m^3$ | | |
| Viscosidad dinámica μ | 0.00001823 | Pa·s | | |
| Viscosidad cinemática ν | 1.89896E-05 | $m^2/s$ | | |
| GEOMETRÍA DEL DUCTO Y RESULTADOS HIDRÁULICOS | | | | |
| Área Ac | 0.0516 | $m^2$ | 0.5556 | $ft^2$ |
| Perímetro mojado P | 0.9144 | m | 3.0000 | ft |
| Diámetro hidráulico Dh | 0.2258 | m | 8.8889 | in |
| Diámetro equivalente De | 0.2480 | m | 9.7624 | in |
| Velocidad media Vc | 3.2918 | m/s | 648.0000 | ft/min |
| Número de Reynolds Reh | 39139 | - | | |
| Estado de flujo | Turbulento | | | |
| Factor de fricción f | 0.0220765 | | | |
| Presión de velocidad Pv | 5.201381 | Pa | 0.0209 | in.wg |
| Pérdida por fricción ΔPf | 0.2024291 | Pa | 0.000813 | in.wg |
| Pérdida de carga total ΔP | 0.2024291 | Pa | 0.000813 | in.wg |
| Caída de presión por 10 m | 5.0859091 | Pa/10 m | | |
| Caída de presión por 100 ft | 15.501851 | Pa/100 ft | 0.0622 | in.wg/100 ft |

*Nota.* Elaboración Propia.

- Cálculo de ducto recto tramo 16

**Tabla 23**

*Cálculo ducto recto Tramo 16*

| ENTRADAS EN IMPERIALES | | |
|---|---|---|
| Anchura W | 7 | in |
| Altura H | 6 | in |
| Longitud L | 5.030 | ft |
| Flujo q | 180 | cfm |
| Rugosidad ε | 0.0003 | in |
| CONVERSIÓN AUTOMÁTICA A UNIDADES MÉTRICAS | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| W (SI) | 0.1778 | m | | |
| H (SI) | 0.1524 | m | | |
| L (SI) | 1.53307481 | m | | |
| q (SI) | 0.084950541 | $m^3/s$ | | |
| ε (SI) | 0.00000762 | m | | |
| PROPIEDADES DEL AIRE ESTÁNDAR A 54°F (12°C, a 2562 m.s.n.m) | | | | |
| Densidad ρ | 0.96 | $kg/m^3$ | | |
| Viscosidad dinámica μ | 0.00001823 | Pa·s | | |
| Viscosidad cinemática ν | 1.89896E-05 | $m^2/s$ | | |
| GEOMETRÍA DEL DUCTO Y RESULTADOS HIDRÁULICOS | | | | |
| Área Ac | 0.0271 | $m^2$ | 0.2917 | $ft^2$ |
| Perímetro mojado P | 0.6604 | m | 2.1667 | ft |
| Diámetro hidráulico Dh | 0.1641 | m | 6.4615 | in |
| Diámetro equivalente De | 0.1798 | m | 7.0793 | in |
| Velocidad media Vc | 3.1351 | m/s | 617.1429 | ft/min |
| Número de Reynolds Reh | 27096 | - | | |
| Estado de flujo | Turbulento | | | |
| Factor de fricción f | 0.0240888 | | | |
| Presión de velocidad Pv | 4.717806 | Pa | 0.0189 | in.wg |
| Pérdida por fricción ΔPf | 1.0615725 | Pa | 0.004262 | in.wg |
| Pérdida de carga total ΔP | 1.0615725 | Pa | 0.004262 | in.wg |
| Caída de presión por 10 m | 6.9244665 | Pa/10 m | | |
| Caída de presión por 100 ft | 21.105774 | Pa/100 ft | 0.0847 | in.wg/100 ft |

*Nota.* Elaboración Propia.

- Cálculo de ducto recto tramo 17

**Tabla 24**

*Cálculo ducto recto Tramo 17*

| ENTRADAS EN IMPERIALES | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anchura W | 6 | in | | |
| Altura H | 6 | in | | |
| Longitud L | 0.318257 | ft | | |
| Flujo q | 180 | cfm | | |
| Rugosidad ε | 0.0003 | in | | |
| CONVERSIÓN AUTOMÁTICA A UNIDADES MÉTRICAS | | | | |
| W (SI) | 0.1524 | m | | |
| H (SI) | 0.1524 | m | | |
| L (SI) | 0.097004734 | m | | |
| q (SI) | 0.084950541 | $m^3/s$ | | |
| ε (SI) | 0.00000762 | m | | |
| PROPIEDADES DEL AIRE ESTÁNDAR A 54°F (12°C, a 2562 m.s.n.m) | | | | |
| Densidad ρ | 0.96 | $kg/m^3$ | | |
| Viscosidad dinámica μ | 0.00001823 | Pa·s | | |
| Viscosidad cinemática ν | 1.89896E-05 | $m^2/s$ | | |
| GEOMETRÍA DEL DUCTO Y RESULTADOS HIDRÁULICOS | | | | |
| Área Ac | 0.0232 | $m^2$ | 0.2500 | $ft^2$ |
| Perímetro mojado P | 0.6096 | m | 2.0000 | ft |
| Diámetro hidráulico Dh | 0.1524 | m | 6.0000 | in |
| Diámetro equivalente De | 0.1666 | m | 6.5590 | in |
| Velocidad media Vc | 3.6576 | m/s | 720.0000 | ft/min |
| Número de Reynolds Reh | 29354 | - | | |
| Estado de flujo | Turbulento | | | |
| Factor de fricción f | 0.0236484 | | | |
| Presión de velocidad Pv | 6.421458 | Pa | 0.0258 | in.wg |
| Pérdida por fricción ΔPf | 0.0966593 | Pa | 0.000388 | in.wg |
| Pérdida de carga total ΔP | 0.0966593 | Pa | 0.000388 | in.wg |
| Caída de presión por 10 m | 9.9643921 | Pa/10 m | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Caída de presión por 100 ft | 30.371467 | Pa/100 ft | 0.1219 | in.wg/100 ft |

*Nota.* Elaboración Propia.

- Cálculo de ducto recto tramo 22

**Tabla 25**

*Cálculo ducto recto Tramo 22*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ENTRADAS EN IMPERIALES | | | | |
| Anchura W | 20 | in | | |
| Altura H | 8 | in | | |
| Longitud L | 1.896418 | ft | | |
| Flujo q | 1080 | cfm | | |
| Rugosidad ε | 0.0003 | in | | |
| CONVERSIÓN AUTOMÁTICA A UNIDADES MÉTRICAS | | | | |
| W (SI) | 0.508 | m | | |
| H (SI) | 0.2032 | m | | |
| L (SI) | 0.578028206 | m | | |
| q (SI) | 0.509703246 | $m^3/s$ | | |
| ε (SI) | 0.00000762 | m | | |
| PROPIEDADES DEL AIRE ESTÁNDAR A 54°F (12°C, a 2562 m.s.n.m) | | | | |
| Densidad ρ | 0.96 | $kg/m^3$ | | |
| Viscosidad dinámica μ | 0.00001823 | Pa·s | | |
| Viscosidad cinemática ν | 1.89896E-05 | $m^2/s$ | | |
| GEOMETRÍA DEL DUCTO Y RESULTADOS HIDRÁULICOS | | | | |
| Área Ac | 0.1032 | $m^2$ | 1.1111 | $ft^2$ |
| Perímetro mojado P | 1.4224 | m | 4.6667 | ft |
| Diámetro hidráulico Dh | 0.2903 | m | 11.4286 | in |
| Diámetro equivalente De | 0.3424 | m | 13.4812 | in |
| Velocidad media Vc | 4.9378 | m/s | 972.0000 | ft/min |
| Número de Reynolds Reh | 75481 | - | | |
| Estado de flujo | Turbulento | | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Factor de fricción f | 0.0190969 | | | |
| Presión de velocidad Pv | 11.703108 | Pa | 0.0470 | in.wg |
| Pérdida por fricción ΔPf | 0.4450292 | Pa | 0.001787 | in.wg |
| Pérdida de carga total ΔP | 0.4450292 | Pa | 0.001787 | in.wg |
| Caída de presión por 10 m | 7.6990921 | Pa/10 m | | |
| Caída de presión por 100 ft | 23.466833 | Pa/100 ft | 0.0942 | in.wg/100 ft |

*Nota.* Elaboración Propia.

- Cálculo de ducto recto tramo 23

**Tabla 26**

*Cálculo ducto recto Tramo 23*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ENTRADAS EN IMPERIALES | | | | |
| Anchura W | 20 | in | | |
| Altura H | 8 | in | | |
| Longitud L | 0.52496 | ft | | |
| Flujo q | 1800 | cfm | | |
| Rugosidad ε | 0.0003 | in | | |
| CONVERSIÓN AUTOMÁTICA A UNIDADES MÉTRICAS | | | | |
| W (SI) | 0.508 | m | | |
| H (SI) | 0.2032 | m | | |
| L (SI) | 0.160007808 | m | | |
| q (SI) | 0.84950541 | $m^3/s$ | | |
| ε (SI) | 0.00000762 | m | | |
| PROPIEDADES DEL AIRE ESTÁNDAR A 54°F (12°C, a 2562 m.s.n.m) | | | | |
| Densidad ρ | 0.96 | $kg/m^3$ | | |
| Viscosidad dinámica μ | 0.00001823 | Pa·s | | |
| Viscosidad cinemática ν | 1.89896E-05 | $m^2/s$ | | |
| GEOMETRÍA DEL DUCTO Y RESULTADOS HIDRÁULICOS | | | | |
| Área Ac | 0.1032 | $m^2$ | 1.1111 | $ft^2$ |
| Perímetro mojado P | 1.4224 | m | 4.6667 | ft |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Diámetro hidráulico Dh | 0.2903 | m | 11.4286 | in |
| Diámetro equivalente De | 0.3424 | m | 13.4812 | in |
| Velocidad media Vc | 8.2296 | m/s | 1620.0001 | ft/min |
| Número de Reynolds Reh | 125802 | - | | |
| Estado de flujo | Turbulento | | | |
| Factor de fricción f | 0.0172184 | | | |
| Presión de velocidad Pv | 32.508633 | Pa | 0.1305 | in.wg |
| Pérdida por fricción ΔPf | 0.3085372 | Pa | 0.001239 | in.wg |
| Pérdida de carga total ΔP | 0.3085372 | Pa | 0.001239 | in.wg |
| Caída de presión por 10 m | 19.2826354 | Pa/10 m | | |
| Caída de presión por 100 ft | 58.773473 | Pa/100 ft | 0.2360 | in.wg/100 ft |

*Nota.* Elaboración Propia.

- Cálculo de ducto recto tramo 24

**Tabla 27**

*Cálculo ducto recto Tramo 24*

| | | |
|---|---|---|
| ENTRADAS EN IMPERIALES | | |
| Anchura W | 24 | in |
| Altura H | 10 | in |
| Longitud L | 5.101955 | ft |
| Flujo q | 1800 | cfm |
| Rugosidad ε | 0.0003 | in |
| CONVERSIÓN AUTOMÁTICA A UNIDADES MÉTRICAS | | |
| W (SI) | 0.6096 | m |
| H (SI) | 0.254 | m |
| L (SI) | 1.555075884 | m |
| q (SI) | 0.84950541 | $m^3/s$ |
| ε (SI) | 0.00000762 | m |
| PROPIEDADES DEL AIRE ESTÁNDAR A 54°F (12°C, a 2562 m.s.n.m) | | |
| Densidad ρ | 0.96 | $kg/m^3$ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Viscosidad dinámica μ | 0.00001823 | Pa·s | | |
| Viscosidad cinemática ν | 1.89896E-05 | $m^2/s$ | | |
| GEOMETRÍA DEL DUCTO Y RESULTADOS HIDRÁULICOS | | | | |
| Área Ac | 0.1548 | $m^2$ | 1.6667 | $ft^2$ |
| Perímetro mojado P | 1.7272 | m | 5.6667 | ft |
| Diámetro hidráulico Dh | 0.3586 | m | 14.1177 | in |
| Diámetro equivalente De | 0.4203 | m | 16.5465 | in |
| Velocidad media Vc | 5.4864 | m/s | 1080.0001 | ft/min |
| Número de Reynolds Reh | 103602 | - | | |
| Estado de flujo | Turbulento | | | |
| Factor de fricción f | 0.0178638 | | | |
| Presión de velocidad Pv | 14.448281 | Pa | 0.0580 | in.wg |
| Pérdida por fricción ΔPf | 1.1192976 | Pa | 0.004494 | in.wg |
| Pérdida de carga total ΔP | 1.1192976 | Pa | 0.004494 | in.wg |
| Caída de presión por 10 m | 7.1977043 | Pa/10 m | | |
| Caída de presión por 100 ft | 21.938603 | Pa/100 ft | 0.0881 | in.wg/100 ft |

*Nota.* Elaboración Propia.

- Cálculo de ducto recto tramo 126

**Tabla 28**

*Cálculo ducto recto Tramo 26*

| | | |
|---|---|---|
| Anchura W | 30 | in |
| Altura H | 30 | in |
| Longitud L | 1.54207 | ft |
| Flujo q | 1800 | cfm |
| Rugosidad ε | 0.0003 | in |
| CONVERSIÓN AUTOMÁTICA A UNIDADES MÉTRICAS | | |
| W (SI) | 0.762 | m |
| H (SI) | 0.762 | m |
| L (SI) | 0.470022936 | m |

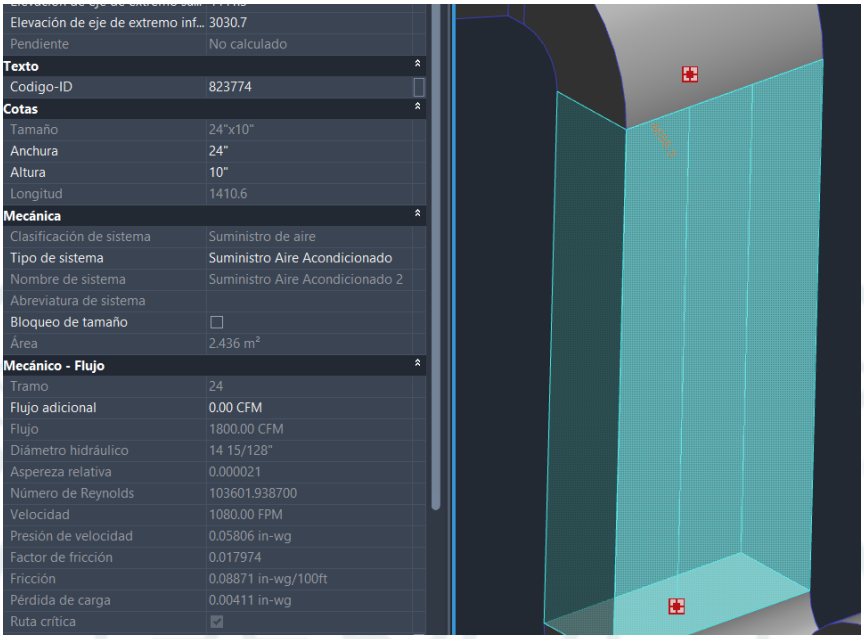
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| q (SI) | 0.84950541 | $m^3/s$ | | |
| ε (SI) | 0.00000762 | m | | |
| PROPIEDADES DEL AIRE ESTÁNDAR A 54°F (12°C, a 2562 m.s.n.m) | | | | |
| Densidad ρ | 0.96 | $kg/m^3$ | | |
| Viscosidad dinámica μ | 0.00001823 | Pa·s | | |
| Viscosidad cinemática ν | 1.89896E-05 | $m^2/s$ | | |
| GEOMETRÍA DEL DUCTO Y RESULTADOS HIDRÁULICOS | | | | |
| Área Ac | 0.5806 | $m^2$ | 6.2500 | $ft^2$ |
| Perímetro mojado P | 3.0480 | m | 10.0000 | ft |
| Diámetro hidráulico Dh | 0.7620 | m | 30.0000 | in |
| Diámetro equivalente De | 0.8330 | m | 32.7950 | in |
| Velocidad media Vc | 1.4630 | m/s | 288.0000 | ft/min |
| Número de Reynolds Reh | 58708 | - | | |
| Estado de flujo | Turbulento | | | |
| Factor de fricción f | 0.0200749 | | | |
| Presión de velocidad Pv | 1.027433 | Pa | 0.0041 | in.wg |
| Pérdida por fricción ΔPf | 0.0127225 | Pa | 0.000051 | in.wg |
| Pérdida de carga total ΔP | 0.0127225 | Pa | 0.000051 | in.wg |
| Caída de presión por 10 m | 0.2706780 | Pa/10 m | | |
| Caída de presión por 100 ft | 0.825027 | Pa/100 ft | 0.0033 | in.wg/100 ft |

*Nota.* Elaboración Propia.

La diferencia entre los resultados obtenidos por Revit y la hoja programada en Excel son inferiores al 0.1%, con lo cual tomamos los resultados del software Revit para el resto de los cálculos en todos los ambientes.

**Figura 23**

*Resultados Ducto tramo 24*




*Nota.* Elaboración Propia.

**3.4.1.3 Cálculos en uniones y accesorios.** Para evaluar los cálculos de ductos se empleará la herramienta de ASHRAE Duct Fitting Data Base ruta crítica 8, 9,10 ,11 ,12 ,14, 15, 16, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28.

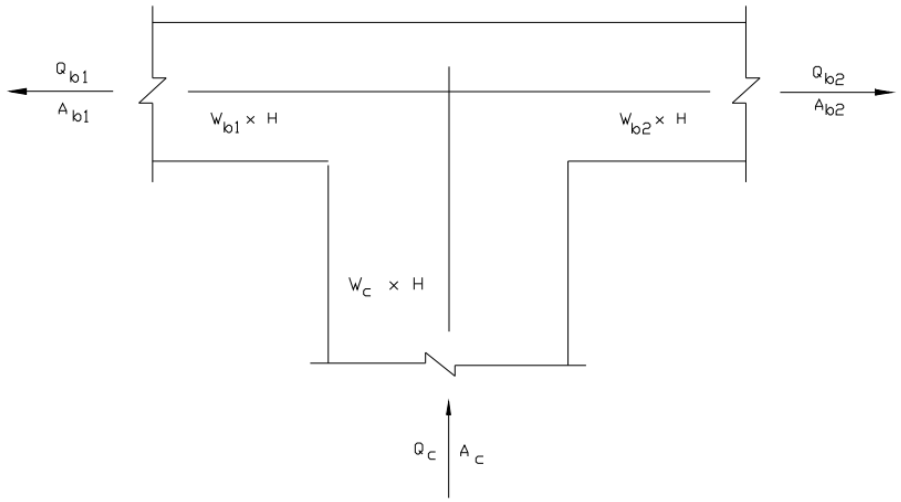
- Cálculo Tramo 8, 9 y 21 correspondiente a un mismo ID 823099: Tipo SR5-15 Es un un accesorio que presenta 1 entrada y dos salidas, el programa considera a la entrada “c” como tramo 8, a la salida “b1” como tramo 9 y la salida “b2” como tramo 21

**Figura 24**

Cálculo de accesorio tramo 8 ID 823099

**(SR5-15) Bullhead Tee without Vanes, Diverging**
**(Idelchik 1986, Diagrams 7-16 & 7-30)**

| INPUTS | | | OUTPUTS | |
|---|---|---|---|---|
| Height (H, in.) | 10.0 | | **Branch 1** | |
| Width (Wc, in.) | 16.0 | | Velocity (Vb1, fpm) | 778 |
| Width (Wb1, in.) | 10.0 | | Vel Pres at Vb1 (Pvb1, in. wg) | 0.03 |
| Width (Wb2, in.) | 10.0 | | Loss Coefficient (Cb1) | 1.45 |
| Flow Rate (Qc, cfm) | 1080 | | Branch 1 Pressure Loss (in. wg) | 0.04 |
| Flow Rate (Qb1, cfm) | 540 | | **Branch 2** | |
| Density (lbm/ft^3) | 0.056 | | Velocity (Vb2, fpm) | 778 |
| | | | Vel Pres at Vb2 (Pvb2, in. wg) | 0.03 |
| | | | Loss Coefficient (Cb2) | 1.45 |
| | | | Branch 2 Pressure Loss (in. wg) | 0.04 |
| | | | **Main** | |
| | | | Velocity (Vc, fpm) | 972 |
| | | | Vel Pres at Vc (Pvc, in. wg) | 0.04 |




*Nota.* Elaborado en ASHRAE Duct Fitting Data Base.

- Cálculo Tramo 10 Damper, para los Dampers se empleará un coeficiente K de accesorio igual a 4, tenemos un total de 3 Dampers en la ruta crítica, se tomará la velocidad de los tramos correspondientes, se empleará al ecuación EC-15 los resultados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 29**

*Perdidas en Dampers*

| Tramo | ID | Tamaño Damper | Coeficiente de accesorio | Velocidad Tramo FPM | Perdida de Fricción |
|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 935330 | 10"x9" | 4 | 864 | 0.149 |
| 21 | 962707 | 7"x10" | 4 | 740 | 0.10 |
| 22 | 962722 | 7"x6" | 4 | 617.14 | 0.076 |

*Nota.* Elaborado Propia.

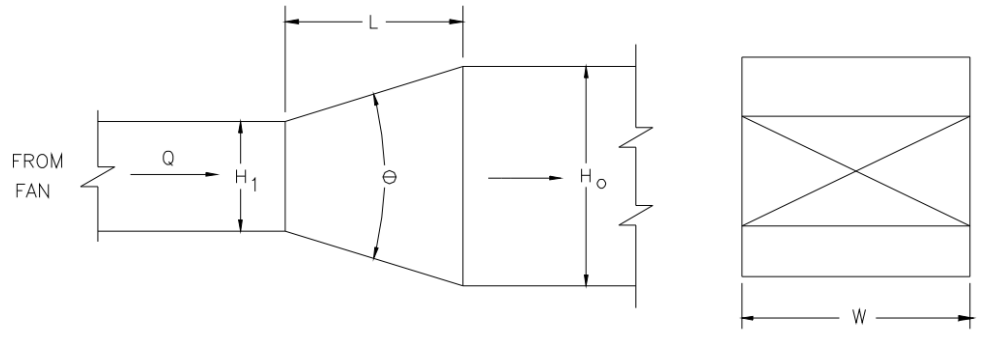
El tramo 10 también lo conforma el elemento de código ID 1103193 una transición rectangular.

**Figura 25**

*Tramo 10 ID 1003193 SR4-1*

**(SR4-1) Transition, Rectangular, Two Sides Parallel, Symmetrical, Supply Air Systems (Idelchik 1986, Diagram 5-5)**

| INPUTS | | | OUTPUTS | |
|---|---|---|---|---|
| Height (Ho, in.) | 9.0 | | Angle (Theta, deg.) | 53 |
| Width (W, in.) | 10.0 | | Velocity (Vo, fpm) | 864 |
| Height (H1, in.) | 10.0 | | Velocity (V1, fpm) | 778 |
| Length (L, in.) | 1.0 | | Vel Pres at Vo (Pvo, in. wg) | 0.03 |
| Flow Rate (Q, cfm) | 540 | | Vel Pres at V1 (Pv1, in. wg) | 0.03 |
| Density (lbm/ft^3) | 0.056 | | Loss Coefficient (Co) | 0.01 |
| | | | Pressure Loss (in. wg) | 0.00 |




$A_o/A_1$ < or > 1

*Nota.* Elaborado en ASHRAE Duct Fitting Data Base.

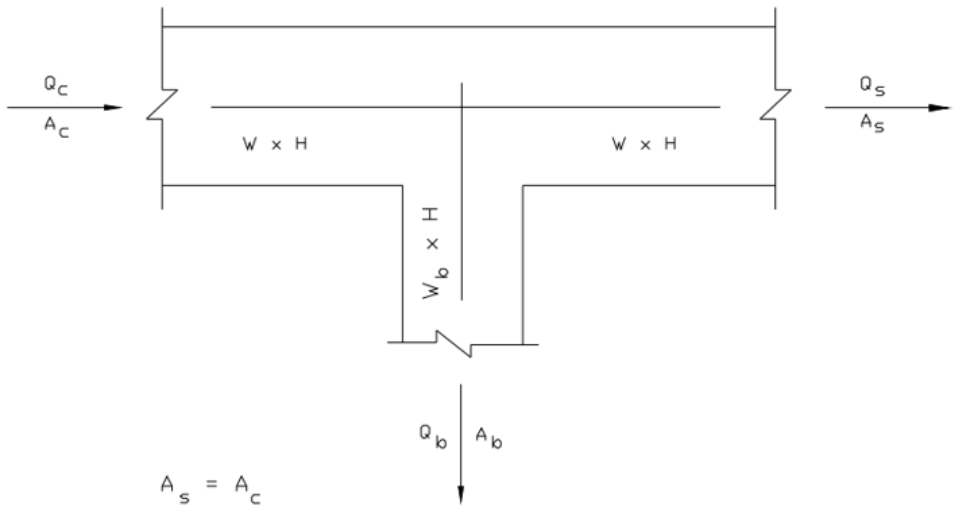
- Tramo 11,12 y 19 comprende al elemento de código ID 816739 que es una transición de tipo T SR5-5 según ASHRAE, que a su vez comprende los tramos 19 (punto C), 11 (Punto b) y 12 (Punto S) mostrados en la siguiente figura

**Figura 26**

*Cálculo Tramo 12, ID* 816739 *Código SR5-5*

**(SR5-5) Tee of the Type As + Ab > Ac, As = Ac, Diverging**
**(Idelchik 1986, Diagrams 7-15 & 7-17)**

| INPUTS | | | OUTPUTS | |
|---|---|---|---|---|
| Height (H, in.) | 7.0 | | **Branch** | |
| Width (W, in.) | 10.0 | | Velocity (Vb, fpm) | 617 |
| Width (Wb, in.) | 6.0 | | Velocity (Pvb, in. wg) | 0.02 |
| Flow Rate (Qc, cfm) | 540 | | Loss Coefficient (Cb) | 3.49 |
| Flow Rate (Qb, cfm) | 180 | | Branch Pressure Loss (in. wg) | 0.06 |
| Density (lbm/ft^3) | 0.056 | | **Main** | |
| | | | Velocity (Vs, fpm) | 741 |
| | | | Velocity (Vc, fpm) | 1111 |
| | | | Vel Pres at Vs (Pvs, in. wg) | 0.03 |
| | | | Vel Pres at Vc (Pvc, in. wg) | 0.06 |
| | | | Loss Coefficient (Cs) | 0.11 |
| | | | Main Pressure Loss (in. wg) | 0.00 |




*Nota.* Elaborado en ASHRAE Duct Fitting Data Base.

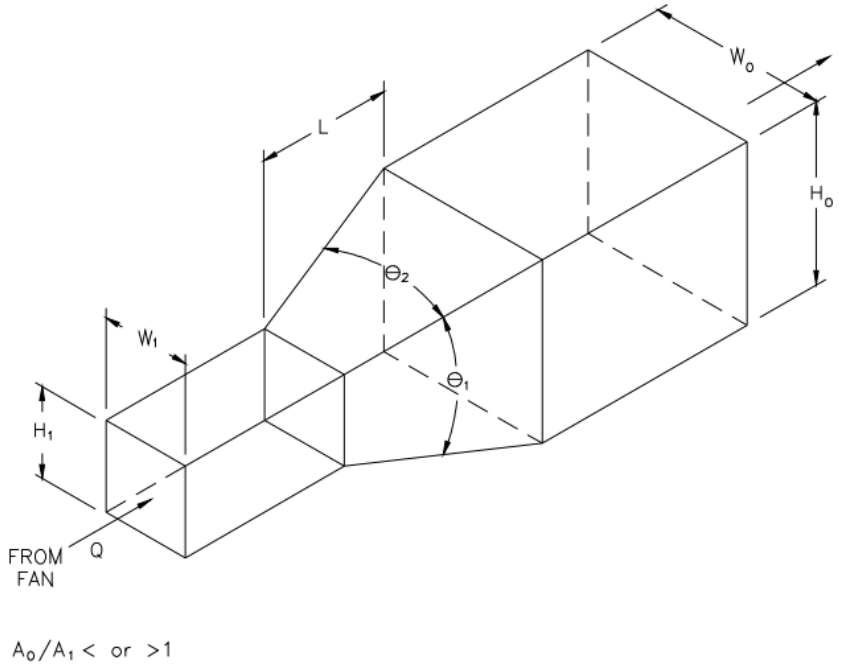
- Tramo 11 Código ID 1037995 es un transición rectangular SR4-2

**Figura 27**

*Cálculo Tramo 11, ID* 1037995 *Código SR4-2*

**(SR4-2) Transition, Pyramidal, Supply Air Systems**
**(Idelchik 1986, Diagram 5-4)**

| INPUTS | | | OUTPUTS | |
|---|---|---|---|---|
| Height (Ho, in.) | 7.0 | | Angle (Theta1, deg.) | 45 |
| Width (Wo, in.) | 10.0 | | Angle (Theta2, deg.) | 0 |
| Height (H1, in.) | 9.0 | | Velocity (Vo, fpm) | 1111 |
| Width (W1, in.) | 10.0 | | Velocity (V1, fpm) | 864 |
| Length (L, in.) | 2.4 | | Vel Pres at Vo (Pvo, in. wg) | 0.06 |
| Flow Rate (Q, cfm) | 540 | | Vel Pres at V1 (Pv1, in. wg) | 0.03 |
| Density (lbm/ft^3) | 0.056 | | Loss Coefficient (Co) | 0.03 |
| | | | Pressure Loss (in. wg) | 0.00 |




*Nota.* Elaborado en ASHRAE Duct Fitting Data Base.

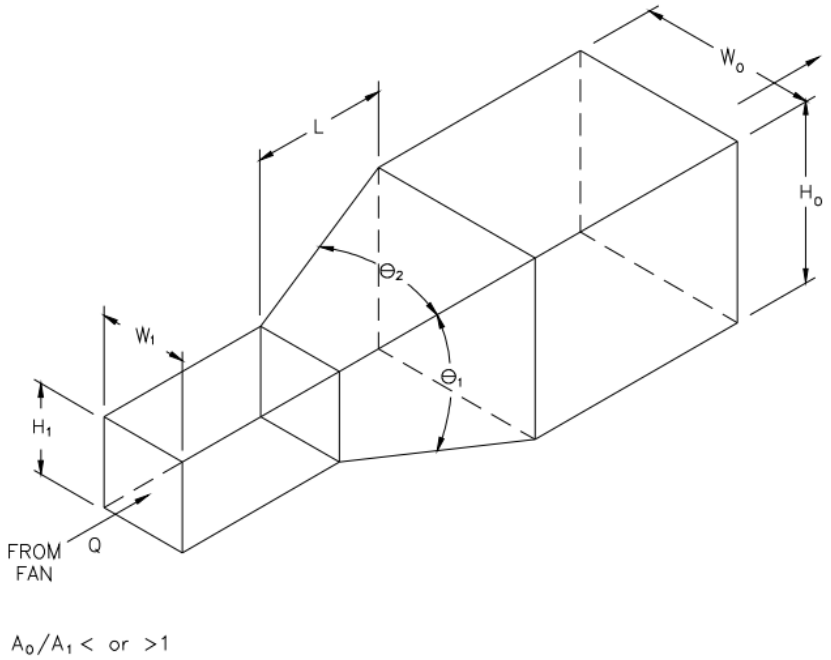
- Calculo tramo 12, ID 1037784, código ASHRAE SR4-2, es una transición rectangular.

**Figura 28**

*Cálculo tramo 12, ID 1037784, Código SR4-2*

**(SR4-2) Transition, Pyramidal, Supply Air Systems**
**(Idelchik 1986, Diagram 5-4)**

| INPUTS | | | OUTPUTS | |
|---|---|---|---|---|
| Height (Ho, in.) | 10.0 | | Angle (Theta1, deg.) | 0 |
| Width (Wo, in.) | 8.0 | | Angle (Theta2, deg.) | 45 |
| Height (H1, in.) | 10.0 | | Velocity (Vo, fpm) | 648 |
| Width (W1, in.) | 7.0 | | Velocity (V1, fpm) | 741 |
| Length (L, in.) | 1.2 | | Vel Pres at Vo (Pvo, in. wg) | 0.02 |
| Flow Rate (Q, cfm) | 360 | | Vel Pres at V1 (Pv1, in. wg) | 0.03 |
| Density (lbm/ft^3) | 0.056 | | Loss Coefficient (Co) | 0.19 |
| | | | Pressure Loss (in. wg) | 0.00 |




*Nota.* Elaborado en ASHRAE Duct Fitting Data Base.

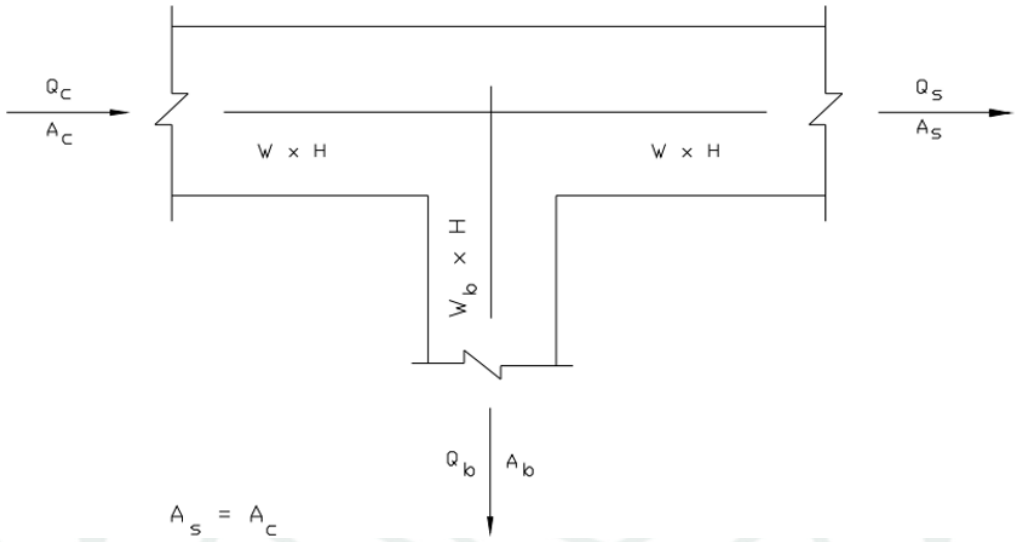
- Tramo 14,15 y 18 comprende al elemento de código ID 816325 que es una transición de tipo T SR5-5 según ASHRAE, que a su vez comprende los tramos 18 (punto C), 14 (Punto b) y 15 (Punto S) mostrados en la siguiente figura

**Figura 29**

*Cálculo tramo 14, ID 116325, Código SR5-5*

**(SR5-5) Tee of the Type As + Ab > Ac, As = Ac, Diverging**
**(Idelchik 1986, Diagrams 7-15 & 7-17)**

| INPUTS | | | OUTPUTS | |
|---|---|---|---|---|
| Height (H, in.) | 6.0 | | **Branch** | |
| Width (W, in.) | 8.0 | | Velocity (Vb, fpm) | 720 |
| Width (Wb, in.) | 6.0 | | Velocity (Pvb, in. wg) | 0.02 |
| Flow Rate (Qc, cfm) | 360 | | Loss Coefficient (Cb) | 2.20 |
| Flow Rate (Qb, cfm) | 180 | | Branch Pressure Loss (in. wg) | 0.05 |
| Density (lbm/ft^3) | 0.056 | | **Main** | |
| | | | Velocity (Vs, fpm) | 540 |
| | | | Velocity (Vc, fpm) | 1080 |
| | | | Vel Pres at Vs (Pvs, in. wg) | 0.01 |
| | | | Vel Pres at Vc (Pvc, in. wg) | 0.05 |
| | | | Loss Coefficient (Cs) | 0.40 |
| | | | Main Pressure Loss (in. wg) | 0.01 |




*Nota.* Elaborado en ASHRAE Duct Fitting Data Base.

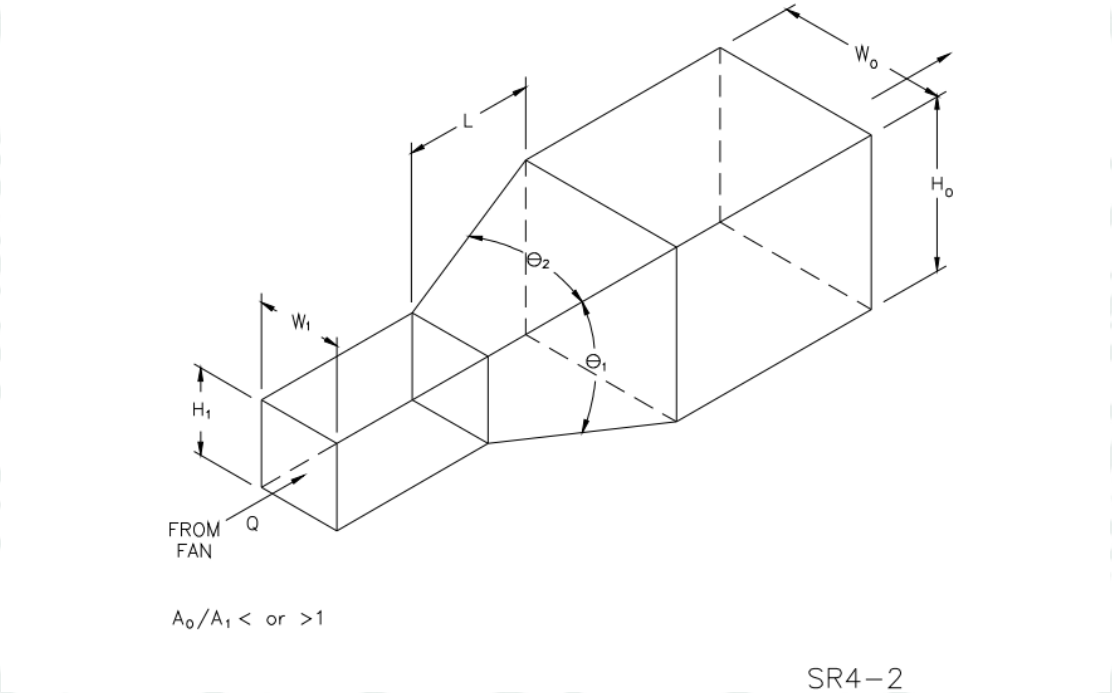
- Calculo Tramo 14, código ID 945460, código ASHRAE SR4-2, es una transición rectangular.

**Figura 30**

Cálculo Tramo 14, código ID 945460

**(SR4-2) Transition, Pyramidal, Supply Air Systems**
**(Idelchik 1986, Diagram 5-4)**

| INPUTS | | | OUTPUTS | |
|---|---|---|---|---|
| Height (Ho, in.) | 10.0 | | Angle (Theta1, deg.) | 45 |
| Width (Wo, in.) | 8.0 | | Angle (Theta2, deg.) | 45 |
| Height (H1, in.) | 8.0 | | Velocity (Vo, fpm) | 648 |
| Width (W1, in.) | 6.0 | | Velocity (V1, fpm) | 1080 |
| Length (L, in.) | 2.4 | | Vel Pres at Vo (Pvo, in. wg) | 0.02 |
| Flow Rate (Q, cfm) | 360 | | Vel Pres at V1 (Pv1, in. wg) | 0.05 |
| Density (lbm/ft^3) | 0.056 | | Loss Coefficient (Co) | 0.88 |
| | | | Pressure Loss (in. wg) | 0.02 |




*Nota.* Elaborado en ASHRAE Duct Fitting Data Base.

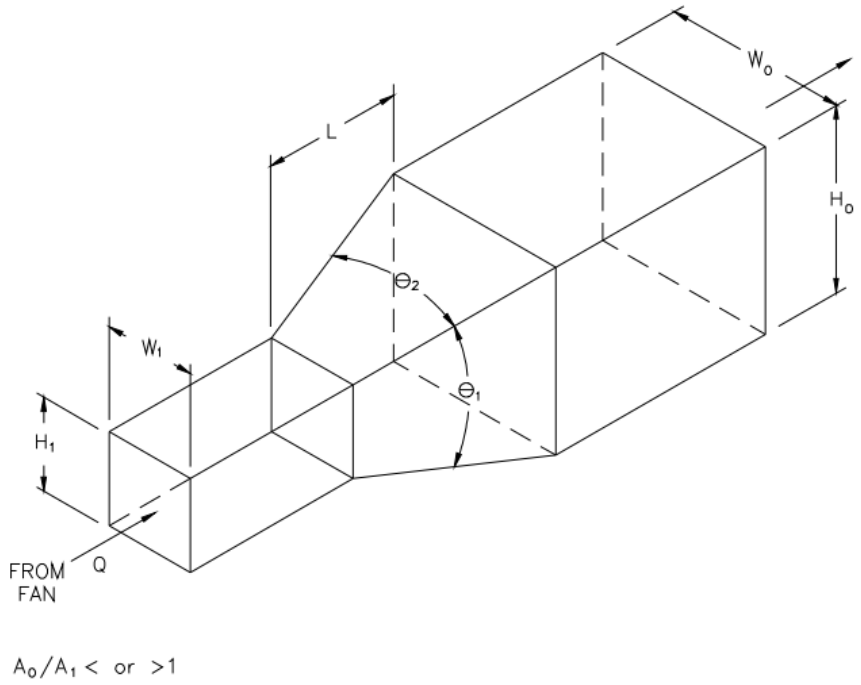
- Calculo Tramo 15, código ID 1037479, código ASHRAE SR4-2, es una transición rectangular.

**Figura 31**

Cálculo Tramo 15, código ID 1037479

**(SR4-2) Transition, Pyramidal, Supply Air Systems**
**(Idelchik 1986, Diagram 5-4)**

| INPUTS | | | OUTPUTS | |
|---|---|---|---|---|
| Height (Ho, in.) | 7.0 | | Angle (Theta1, deg.) | 45 |
| Width (Wo, in.) | 6.0 | | Angle (Theta2, deg.) | 0 |
| Height (H1, in.) | 8.0 | | Velocity (Vo, fpm) | 617 |
| Width (W1, in.) | 6.0 | | Velocity (V1, fpm) | 540 |
| Length (L, in.) | 1.2 | | Vel Pres at Vo (Pvo, in. wg) | 0.02 |
| Flow Rate (Q, cfm) | 180 | | Vel Pres at V1 (Pv1, in. wg) | 0.01 |
| Density (lbm/ft^3) | 0.056 | | Loss Coefficient (Co) | 0.01 |
| | | | Pressure Loss (in. wg) | 0.00 |




*Nota.* Elaborado en ASHRAE Duct Fitting Data Base.

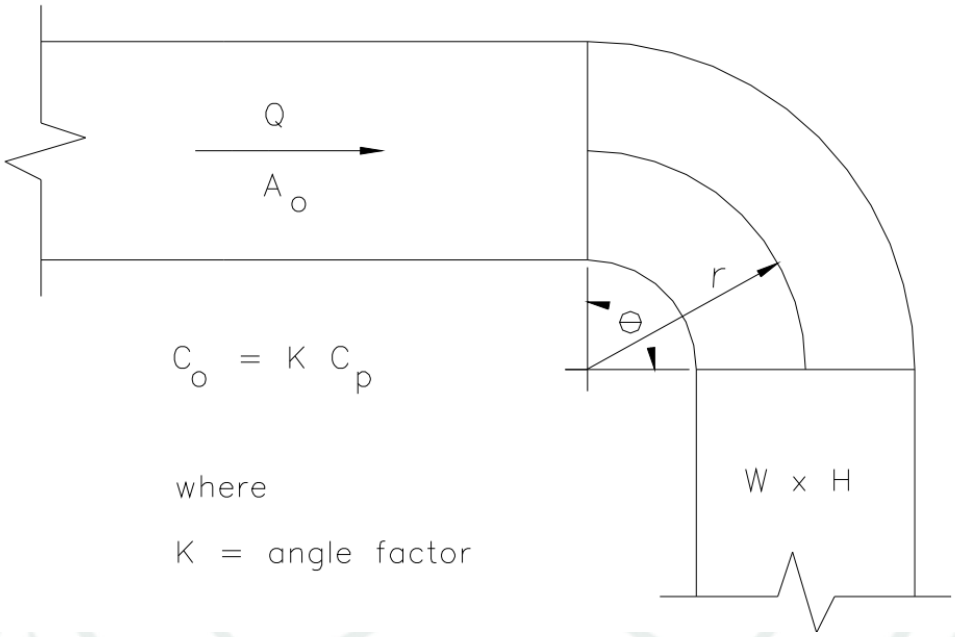
- Calculo Tramo 16, código ID 816197, código ASHRAE CR3-1, una condo de 90 grados con un relación de radio 1

**Figura 32**

Cálculo Tramo 16, código ID 1816197 ASHRAE CR3-1

**(CR3-1) Elbow, Smooth Radius without Vanes**
**(Idelchik 1986, Diagram 6-1)**

| **INPUTS** | | | **OUTPUTS** | |
|---|---|---|---|---|
| Width (W, in.) | 7.0 | | Velocity (Vo, fpm) | 617 |
| Height (H, in.) | 6.0 | | Vel Pres at Vo (Pv, in. wg) | 0.02 |
| Radius Ratio (r/W) | 1.0 | | Loss Coefficient (Co) | 0.22 |
| Angle (Theta, deg.) | 90 | | Pressure Loss (in. wg) | 0.00 |
| Flow Rate (Q, cfm) | 180 | | | |
| Density (lbm/ft^3) | 0.056 | | | |




*Nota.* Elaborado en ASHRAE Duct Fitting Data Base.

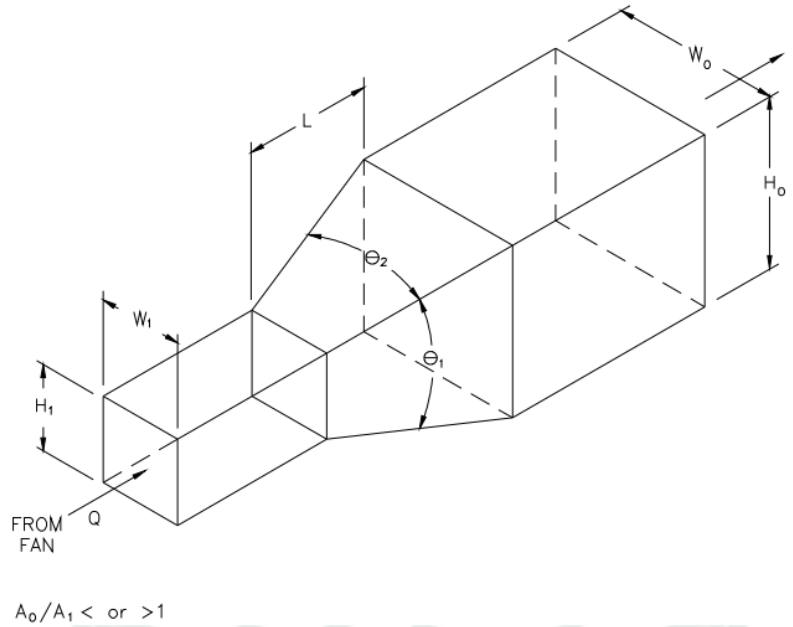
- Calculo Tramo 16, código ID 816278, código ASHRAE CR3-1, una codo de 90 grados con un relación de radio 1, los caculos se muestran en la **Figura 32**, ya que se trata de un mismo accesorio con las mismas condiciones.
- Calculo Tramo 16, ID 1037488 código ASHRAE SR4-2, es una transición rectangular.

**Figura 33**

Cálculo Tramo 15, código ID 1037479

**(SR4-2) Transition, Pyramidal, Supply Air Systems**
**(Idelchik 1986, Diagram 5-4)**

| INPUTS | | | OUTPUTS | |
|---|---|---|---|---|
| Height (Ho, in.) | 6.0 | | Angle (Theta1, deg.) | 45 |
| Width (Wo, in.) | 6.0 | | Angle (Theta2, deg.) | 0 |
| Height (H1, in.) | 7.0 | | Velocity (Vo, fpm) | 720 |
| Width (W1, in.) | 6.0 | | Velocity (V1, fpm) | 617 |
| Length (L, in.) | 1.2 | | Vel Pres at Vo (Pvo, in. wg) | 0.02 |
| Flow Rate (Q, cfm) | 180 | | Vel Pres at V1 (Pv1, in. wg) | 0.02 |
| Density (lbm/ft^3) | 0.056 | | Loss Coefficient (Co) | 0.02 |
| | | | Pressure Loss (in. wg) | 0.00 |




*Nota.* Elaborado en ASHRAE Duct Fitting Data Base.

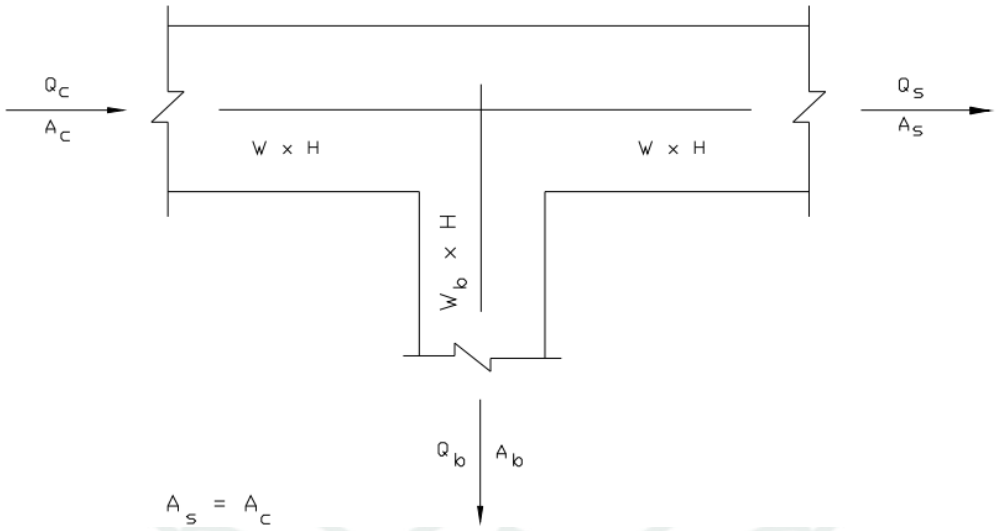
- Tramo 22,23 y 28 comprende al elemento de código ID 949066 que es una transición de tipo T SR5-5 según ASHRAE, que a su vez comprende los tramos 28 (punto C), 23 (Punto b) y 22 (Punto S) mostrados en la siguiente figura

**Figura 34**

*Cálculo tramo 22,23 y 28  ID 949066, Código SR5-5*

**(SR5-5) Tee of the Type As + Ab > Ac, As = Ac, Diverging**
**(Idelchik 1986, Diagrams 7-15 & 7-17)**

| **INPUTS** | | | **OUTPUTS** | |
|---|---|---|---|---|
| Height (H, in.) | 20.0 | | **Branch** | |
| Width (W, in.) | 8.0 | | Velocity (Vb, fpm) | 648 |
| Width (Wb, in.) | 8.0 | | Velocity (Pvb, in. wg) | 0.02 |
| Flow Rate (Qc, cfm) | 1800 | | Loss Coefficient (Cb) | 5.37 |
| Flow Rate (Qb, cfm) | 720 | | Branch Pressure Loss (in. wg) | 0.10 |
| Density (lbm/ft^3) | 0.056 | | **Main** | |
| | | | Velocity (Vs, fpm) | 972 |
| | | | Velocity (Vc, fpm) | 1620 |
| | | | Vel Pres at Vs (Pvs, in. wg) | 0.04 |
| | | | Vel Pres at Vc (Pvc, in. wg) | 0.12 |
| | | | Loss Coefficient (Cs) | 0.18 |
| | | | Main Pressure Loss (in. wg) | 0.01 |




*Nota.* Elaborado en ASHRAE Duct Fitting Data Base.

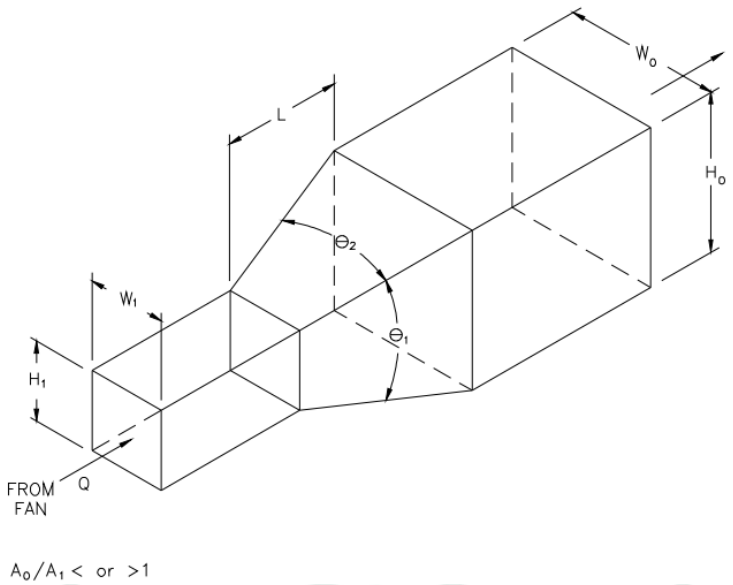
- Calculo Tramo 22, ID 1038230 código ASHRAE SR4-2, es una transición rectangular.

**Figura 35**

Cálculo Tramo 22, código ID 1038230

**(SR4-2) Transition, Pyramidal, Supply Air Systems**
**(Idelchik 1986, Diagram 5-4)**

| INPUTS | | | OUTPUTS | |
|---|---|---|---|---|
| Height (Ho, in.) | 20.0 | | Angle (Theta1, deg.) | 51 |
| Width (Wo, in.) | 8.0 | | Angle (Theta2, deg.) | 27 |
| Height (H1, in.) | 16.0 | | Velocity (Vo, fpm) | 972 |
| Width (W1, in.) | 10.0 | | Velocity (V1, fpm) | 972 |
| Length (L, in.) | 4.2 | | Vel Pres at Vo (Pvo, in. wg) | 0.04 |
| Flow Rate (Q, cfm) | 1080 | | Vel Pres at V1 (Pv1, in. wg) | 0.04 |
| Density (lbm/ft^3) | 0.056 | | Loss Coefficient (Co) | 0.00 |
| | | | Pressure Loss (in. wg) | 0.00 |




*Nota.* Elaborado en ASHRAE Duct Fitting Data Base.

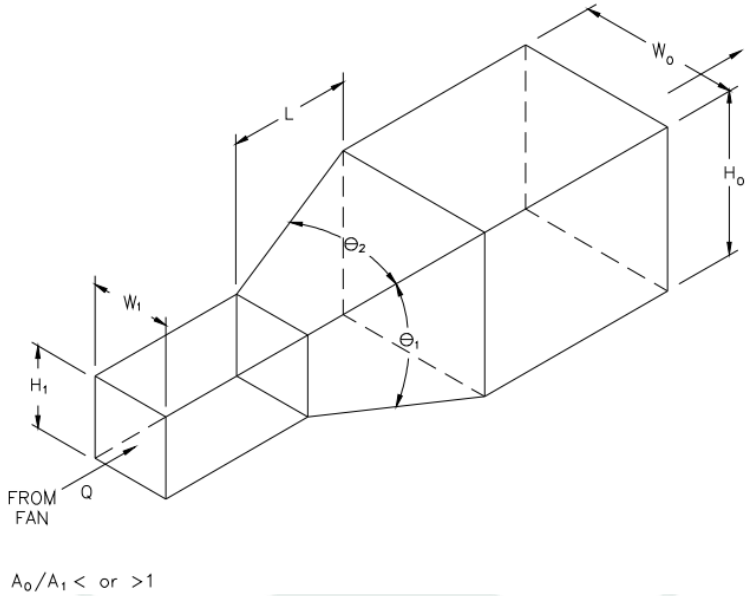
- Calculo Tramo 23, ID 1092150 código ASHRAE SR4-2, es una transición rectangular.

**Figura 36**

Cálculo Tramo 22, código ID 1092150

**(SR4-2) Transition, Pyramidal, Supply Air Systems**
**(Idelchik 1986, Diagram 5-4)**

| INPUTS | | | OUTPUTS | |
|---|---|---|---|---|
| Height (Ho, in.) | 24.0 | | Angle (Theta1, deg.) | 51 |
| Width (Wo, in.) | 10.0 | | Angle (Theta2, deg.) | 27 |
| Height (H1, in.) | 20.0 | | Velocity (Vo, fpm) | 648 |
| Width (W1, in.) | 8.0 | | Velocity (V1, fpm) | 972 |
| Length (L, in.) | 4.2 | | Vel Pres at Vo (Pvo, in. wg) | 0.02 |
| Flow Rate (Q, cfm) | 1080 | | Vel Pres at V1 (Pv1, in. wg) | 0.04 |
| Density (lbm/ft^3) | 0.056 | | Loss Coefficient (Co) | 0.66 |
| | | | Pressure Loss (in. wg) | 0.01 |




*Nota.* Elaborado en ASHRAE Duct Fitting Data Base.

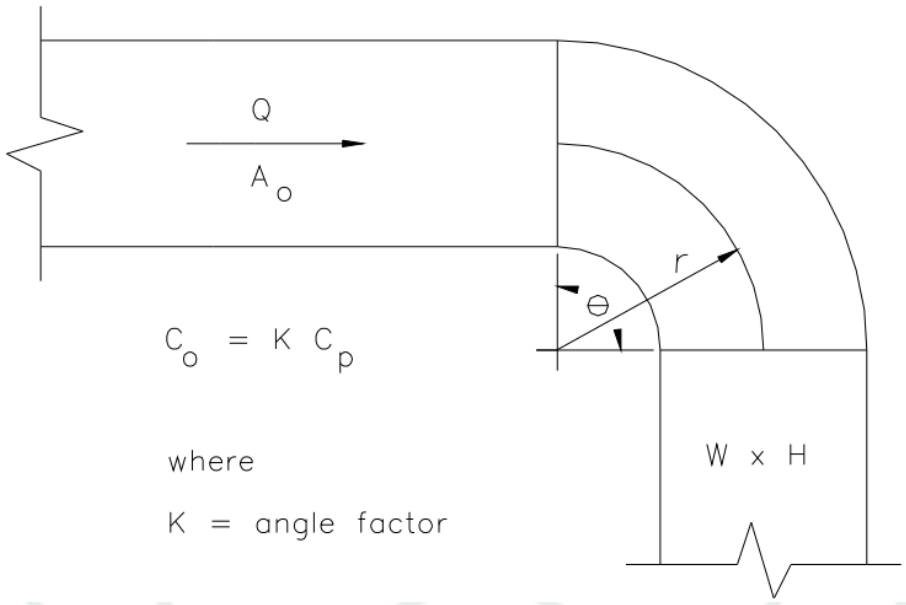
- Calculo Tramo 24, código ID 1036312, código ASHRAE CR3-1, una codo de 90 grados con un relación de radio 1

**Figura 37**

Cálculo Tramo 24, código ID 1036312 ASHRAE CR3-1

**(CR3-1) Elbow, Smooth Radius without Vanes**
**(Idelchik 1986, Diagram 6-1)**

| INPUTS | | | OUTPUTS | |
|---|---|---|---|---|
| Width (W, in.) | 10.0 | | Velocity (Vo, fpm) | 1080 |
| Height (H, in.) | 24.0 | | Vel Pres at Vo (Pv, in. wg) | 0.05 |
| Radius Ratio (r/W) | 1.0 | | Loss Coefficient (Co) | 0.18 |
| Angle (Theta, deg.) | 90 | | Pressure Loss (in. wg) | 0.01 |
| Flow Rate (Q, cfm) | 1800 | | | |
| Density (lbm/ft^3) | 0.056 | | | |




*Nota.* Elaborado en ASHRAE Duct Fitting Data Base.

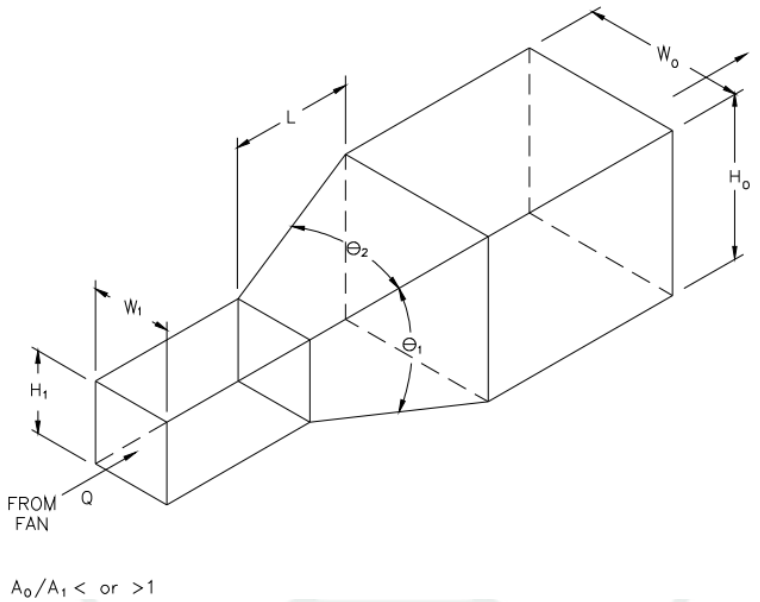
- Calculo Tramo 24, código ID 1039256, código ASHRAE CR3-1, una codo de 90 grados con un relación de radio 1, los caculos se muestran en la **Figura 37**, ya que se trata de un mismo accesorio con las mismas condiciones.
- Calculo Tramo 25, ID 1036466 código ASHRAE SR4-2, es una transición rectangular.

**Figura 38**

Cálculo Tramo 25, código ID 1036466 SR4-2

**(SR4-2) Transition, Pyramidal, Supply Air Systems**
**(Idelchik 1986, Diagram 5-4)**

| INPUTS | | | OUTPUTS | |
|---|---|---|---|---|
| Height (Ho, in.) | 30.0 | | Angle (Theta1, deg.) | 14 |
| Width (Wo, in.) | 30.0 | | Angle (Theta2, deg.) | 45 |
| Height (H1, in.) | 24.0 | | Velocity (Vo, fpm) | 288 |
| Width (W1, in.) | 10.0 | | Velocity (V1, fpm) | 1080 |
| Length (L, in.) | 24.2 | | Vel Pres at Vo (Pvo, in. wg) | 0.00 |
| Flow Rate (Q, cfm) | 1800 | | Vel Pres at V1 (Pv1, in. wg) | 0.05 |
| Density (lbm/ft^3) | 0.056 | | Loss Coefficient (Co) | 8.28 |
| | | | Pressure Loss (in. wg) | 0.03 |




*Nota.* Elaborado en ASHRAE Duct Fitting Data Base.

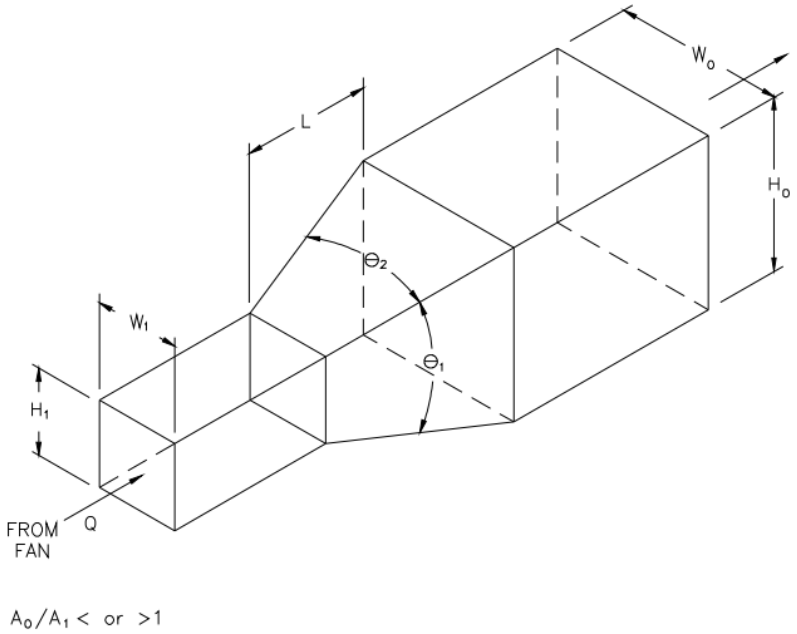
- Calculo Tramo 27, ID 1045158 código ASHRAE SR4-2, es una transición rectangular.

**Figura 39**

Cálculo Tramo 27, código ID 1045158 SR4-2

**(SR4-2) Transition, Pyramidal, Supply Air Systems**
**(Idelchik 1986, Diagram 5-4)**

| INPUTS | | | OUTPUTS | |
|---|---|---|---|---|
| Height (Ho, in.) | 44.0 | | Angle (Theta1, deg.) | 45 |
| Width (Wo, in.) | 37.0 | | Angle (Theta2, deg.) | 23 |
| Height (H1, in.) | 30.0 | | Velocity (Vo, fpm) | 159 |
| Width (W1, in.) | 30.0 | | Velocity (V1, fpm) | 288 |
| Length (L, in.) | 16.9 | | Vel Pres at Vo (Pvo, in. wg) | 0.00 |
| Flow Rate (Q, cfm) | 1800 | | Vel Pres at V1 (Pv1, in. wg) | 0.00 |
| Density (lbm/ft^3) | 0.056 | | Loss Coefficient (Co) | 1.07 |
| | | | Pressure Loss (in. wg) | 0.00 |




*Nota.* Elaborado en ASHRAE Duct Fitting Data Base.

Los calculos fueron realizados por el Software Revit y por de forma analítica, encontrando errores inferiores a 1%.

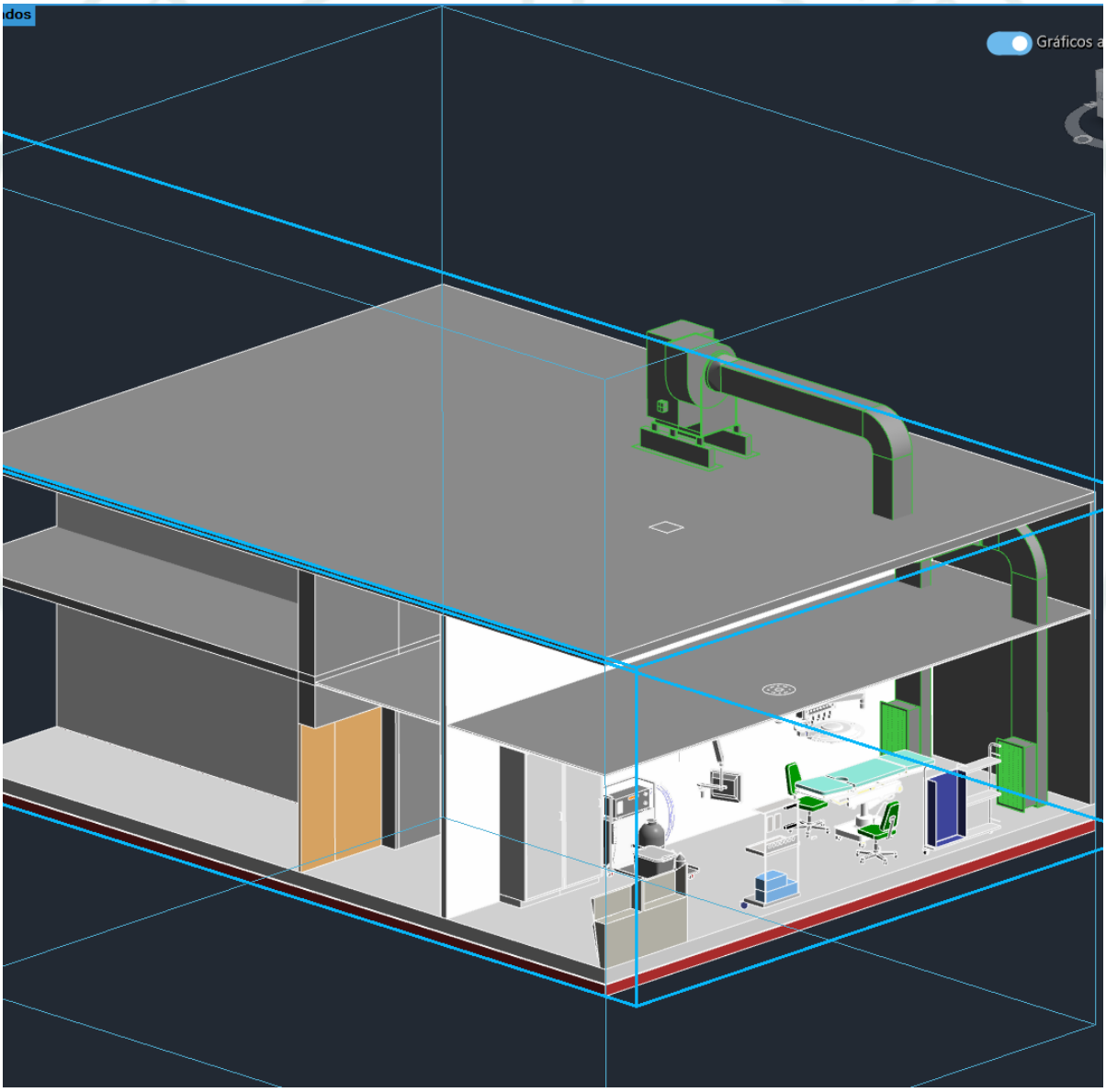
Se tiene una pérdida total por ductos y accesorios de 1.14587 in-wg= 285.13 Pa, se debe sumar el filtro Hepa que tiene una pérdida de presión de 0.4 in-wg, con lo cual la presión final es de 1.546 in-wg= 384.674 Pa.

### *3.4.2 Diseño de sistema de extracción en sala de operaciones.*

Para garantizar la presión positiva en la sala de operaciones la norma ASHRAE 170 recomienda una diferencia de flujos entre la entrada y la salida de 300 cfm, es decir tenemos un flujo de entrada de aire de 1800 CFM y un flujo de extracción de 1500 CM, estos cálculos se realizarán en el software enteramente.

**Figura 40**

*Ductos de extracción trazado en Sala de Operaciones*




*Nota.* Elaboración Propia.

**Tabla 30**

*Perdidas de presión en tramo recto*

| Ruta | ID de elemento | Flujo (CFM) | Tamaño | Velocidad (FPM) | Presión de velocidad (in-wg) | Longitud (mm) | Pérdida de presión (in-wg) | Pérdida de presión total (in-wg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1061971 | 750 | 16"x32" | 210.9 | 0.00221 | 31 | No | 30576.97 |
| 2 | 1039371 | 0 | 7"x18" | 0 | 0 | 418 | No | 0 |
| 3 | 1030783 | 750 | 7"x18" | 857.1 | 0.03657 | 291 | No | 58707.7706 |
| | 1039371 | 750 | 7"x18" | 857.1 | 0.03657 | 2623 | No | 58707.7706 |
| 4 | 1030817 | 750 | 7"x18" | 857.1 | 0.03657 | 453 | Sí | 58707.7724 |
| | 1063155 | 750 | 7"x18" | 857.1 | 0.03657 | 2623 | Sí | 58707.7724 |
| 5 | 1063159 | 750 | 16"x32" | 210.9 | 0.00221 | 31 | Sí | 30576.97 |
| 6 | 1063155 | 0 | 7"x18" | 0 | 0 | 418 | Sí | 0 |
| 8 | 1030803 | 1500 | 14"x14" | 1102 | 0.06046 | 926 | Sí | 104835.296 |
| | 1031092 | 1500 | 14"x14" | 1102 | 0.06046 | 964 | Sí | 104835.296 |
| | 1116955 | 1500 | 14"x14" | 1102 | 0.06046 | 2515 | Sí | 104835.296 |

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 31**

*Perdidas de Presión en accesorios*

| Resumen del coeficiente de pérdida en uniones y accesorios por secciones | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ruta | ID de elemento | Método de pérdida | Tabla ASHRAE | Coeficiente de pérdida | Pérdida de presión (in-wg) | Pérdida de presión total (in-wg) |
| 1 | 1117581 | Coeficiente de tabla ASHRAE | - | 0 | No | 0 |
| 2 | 1063272 | Coeficiente de tabla ASHRAE | - | 0 | No | 0 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1117581 | Coeficiente de tabla ASHRAE | - | 0 | No | 0 |
| 3 | 1030816 | Coeficiente de tabla ASHRAE | ER5-5 | 0.3 | Sí | 0.01097 |
| | 1063773 | Coeficiente de tabla ASHRAE | CR3-1 | 0.258889 | No | 0.00947 |
| 4 | 1030816 | Coeficiente de tabla ASHRAE | ER5-5 | 0.3 | Sí | 0.01097 |
| | 1063792 | Coeficiente de tabla ASHRAE | CR3-1 | 0.258889 | Sí | 0.00947 |
| 5 | 1063160 | Coeficiente de tabla ASHRAE | - | 0 | Sí | 0 |
| 6 | 1063160 | Coeficiente de tabla ASHRAE | - | 0 | Sí | 0 |
| | 1063257 | Coeficiente de tabla ASHRAE | - | 0 | No | 0 |
| 7 | 1030816 | Coeficiente de tabla ASHRAE | ER5-5 | 0 | Sí | 0 |
| | 1045501 | Coeficiente de tabla ASHRAE | ER4-1 | 0.377143 | Sí | 0.01379 |
| 8 | 1031428 | Coeficiente de tabla ASHRAE | CR3-1 | 0.21 | Sí | 0.0127 |
| | 1047447 | Coeficiente de tabla ASHRAE | ER4-3 | 0.232348 | Sí | 0.01405 |
| | 1116974 | Coeficiente de tabla ASHRAE | CR3-1 | 0.21 | Sí | 0.0127 |

*Nota.* Elaboración propia.

Finalmente tendremos un perdida de presión total de 0.19602 in-wg o 48.77 Pa, esto se muestra en la Tabla 32.

**Tabla 32**

*Perdida de presión en sistema de extracción en sala de operaciones.*

| Cálculos de la pérdida de presión total por secciones | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ruta | Elemento | Flujo (CFM) | Tamaño | Velocidad (FPM) | Presión de velocidad (in-wg) | Longitud (mm) | Coeficiente de pérdida | Fricción (in-wg/100ft) | Número de Reynolds | Pérdida de presión total (in-wg) | Pérdida de presión en la sección (in-wg) |
| 1 | Conducto | 750 | 16"x32" | 210.9 | - | 31 | - | 0.00292 | 30576.97 | 0 | 0.1 |
| | Uniones | 750 | - | 210.9 | 0.00221 | - | 0 | - | - | 0 | ~ |
| | Terminal de aire | 750 | - | - | - | - | - | - | - | 0.1 | ~ |
| 2 | Conducto | 0 | 7"x18" | 0 | - | 418 | - | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Uniones | 0 | - | 0 | 0 | - | 0 | - | - | 0 | ~ |
| 3 | Conducto | 750 | 7"x18" | 857.1 | - | 2914 | - | 0.0883 | 58707.7706 | 0.00844 | 0.02888 |
| | Uniones | 750 | - | 857.1 | 0.03657 | - | 0.558889 | - | - | 0.02044 | ~ |
| 4 | Conducto | 750 | 7"x18" | 857.1 | - | 3076 | - | 0.08778 | 58707.7724 | 0.00891 | 0.02935 |
| | Uniones | 750 | - | 857.1 | 0.03657 | - | 0.558889 | - | - | 0.02044 | ~ |
| 5 | Conducto | 750 | 16"x32" | 210.9 | - | 31 | - | 0.00292 | 30576.97 | 0 | 0.1 |
| | Uniones | 750 | - | 210.9 | 0.00221 | - | 0 | - | - | 0 | ~ |
| | Terminal de aire | 750 | - | - | - | - | - | - | - | 0.1 | ~ |

Cálculos de la pérdida de presión total por secciones

| Ruta | Elemento | Flujo (CFM) | Tamaño | Velocidad (FPM) | Presión de velocidad (in-wg) | Longitud (mm) | Coeficiente de pérdida | Fricción (in-wg/100ft) | Número de Reynolds | Pérdida de presión total (in-wg) | Pérdida de presión en la sección (in-wg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | Conducto | 0 | 7"x18" | 0 | - | 418 | - | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Uniones | 0 | - | 0 | 0 | - | 0 | - | - | 0 | ~ |
| 7 | Uniones | 1500 | - | 857.1 | 0.03657 | - | 0.377143 | - | - | 0.01379 | 0.01379 |
| 8 | Conducto | 1500 | 14"x14" | 1102 | - | 4405 | - | 0.09293 | 104835.296 | 0.01343 | 0.05287 |
| | Uniones | 1500 | - | 1102 | 0.06046 | - | 0.652348 | - | - | 0.03944 | ~ |

Ruta crítica: 2-5-6-7; Pérdida de presión total: 0.19602 in-wg=48.77 Pa

*Nota.* Elaboración propia.

### *3.4.3 Selección Equipos de suministro en sala de operaciones.*

En la sala de operaciones se empleará un equipo AHU (Air Handler Unit), el cual integra un condensador, de los cálculos se tiene los siguientes requerimientos para el equipo.

Capacidad total 4.1 ton de refrigeración, 49200 BTU/hr, 14.42 kW

Calor sensible 3.5 ton de refrigeración 42003 BTU/hr, 12.31kW

Calor latente 0.6 ton de refrigeración 7231 BTU/hr, 2.12 kW

Flujo Total 1800 CFM

Una caída de presión total de 384.7 Pa

Con estos requerimientos se seleccionará el equipo de la marca DAIKIN modelo RAHU-VR2000 los datos técnicos se muestran en la siguiente figura.

**Figura 41**

*Datos técnicos AHU*

| COMBINATION MODEL | | | | RAHU-VR1500 | RAHU-VR1750 | RAHU-VR2000 | RAHU-VR2250 | RAHU-VR2500 | RAHU-VR2750 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AHU | Model Name | | | 740x900 | 740x1000 | 750x1100 | 860x1020 | 870x1100 | 870x1180 |
| | Air Flow | | CFM | 1,500 | 1,750 | 2,000 | 2,250 | 2,500 | 2,750 |
| | ESP | | Pa | 250 | 300 | 400 | 450 | | |
| | Motor Power | | KW | 1.0 | 1.23 | 1.23 | 1.23 | 1.8 | 2.95 |
| | Dimension | Width | mm | 900 | 1000 | 1100 | 1020 | 1100 | 1180 |
| | | Height | mm | 840 | 840 | 850 | 960 | 970 | 970 |
| | | Length | mm | 1780 | 1900 | 1900 | 1900 | 1860 | 1860 |
| | Prefilter | | | G4 | G4 | G4 | G4 | G4 | G4 |
| | Total Cooling Capacity (1) | | KW | 11.3 | 13.1 | 15.1 | 17.3 | 19 | 20.8 |
| | Sensible Cooling Capacity | | KW | 8.9 | 10.3 | 11.8 | 13.3 | 14.8 | 16.3 |
| | Fan Type | | | EC FAN | EC FAN | EC FAN | EC FAN | EC FAN | EC FAN |
| Condensing Unit | Type | | | VRV Series | VRV Series | VRV Series | VRV Series | VRV Series | VRV Series |
| | Manufacturer | | | Daikin | Daikin | Daikin | Daikin | Daikin | Daikin |
| | Model | | | RXQ6 | RXQ6 | RXYTQ8 | RXYTQ8 | RXYTQ8 | RXYTQ8 |
| | Qty | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | Refrigerant | | | R410A | R410A | R410A | R410A | R410A | R410A |
| | Power Supply | | | 380-415V/60HZ | 380-415V/60HZ | 380-415V/60HZ | 380-415V/60HZ | 380-415V/60HZ | 380-415V/60HZ |
| | Cooling Capacity (1) | | KW | 11.59 | 12.70 | 18.25 | 18.25 | 18.25 | 19.93 |
| | Rated Power Input (2) | | KW | 5.10 | 5.10 | 6.75 | 6.75 | 6.75 | 6.75 |
| | Minimum Circuit Amps (MCA) (3) | | A | 16.1 | 16.1 | 16.1 | 16.1 | 16.1 | 16.1 |
| | Maximum Fuse Amps (MFA) (4) | | A | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| | Sound Pressure Level | | dBA | 56 | 56 | 57 | 57 | 57 | 57 |
| | Compressor | | Type | Hermetically Sealed Scroll Compressor (Inverter) | Hermetically Sealed Scroll Compressor (Inverter) | Hermetically Sealed Scroll Compressor (Inverter) | Hermetically Sealed Scroll Compressor (Inverter) | Hermetically Sealed Scroll Compressor (Inverter) | Hermetically Sealed Scroll Compressor (Inverter) |
| | | | Qty | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | Fan | | Type | Propeller Fan | Propeller Fan | Propeller Fan | Propeller Fan | Propeller Fan | Propeller Fan |
| | | | Qty | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | Fan Discharge Direction | | | Vertical | Vertical | Vertical | Vertical | Vertical | Vertical |
| | Condenser Coil | Type | | Cross Fin Coil | Cross Fin Coil | Cross Fin Coil | Cross Fin Coil | Cross Fin Coil | Cross Fin Coil |
| | | Fin Treatment | | Blue Fin Coating | Blue Fin Coating | Blue Fin Coating | Blue Fin Coating | Blue Fin Coating | Blue Fin Coating |
| | Dimension | Height | mm | 1,657 | 1,657 | 1,685 | 1,685 | 1,685 | 1,685 |
| | | Width | mm | 930 | 930 | 930 | 930 | 930 | 930 |
| | | Depth | mm | 765 | 765 | 765 | 765 | 765 | 765 |
| | Weight | | kg | 165 | 165 | 198 | 198 | 198 | 198 |
| | Field Refrigerant Pipe Size | Liquid OD | mm | 9.52 | 9.52 | 9.52 | 9.52 | 9.52 | 9.52 |
| | | Gas OD | mm | 19.1 | 19.1 | 19.1 | 19.1 | 19.1 | 19.1 |

*Nota.* Elaboración Propia.

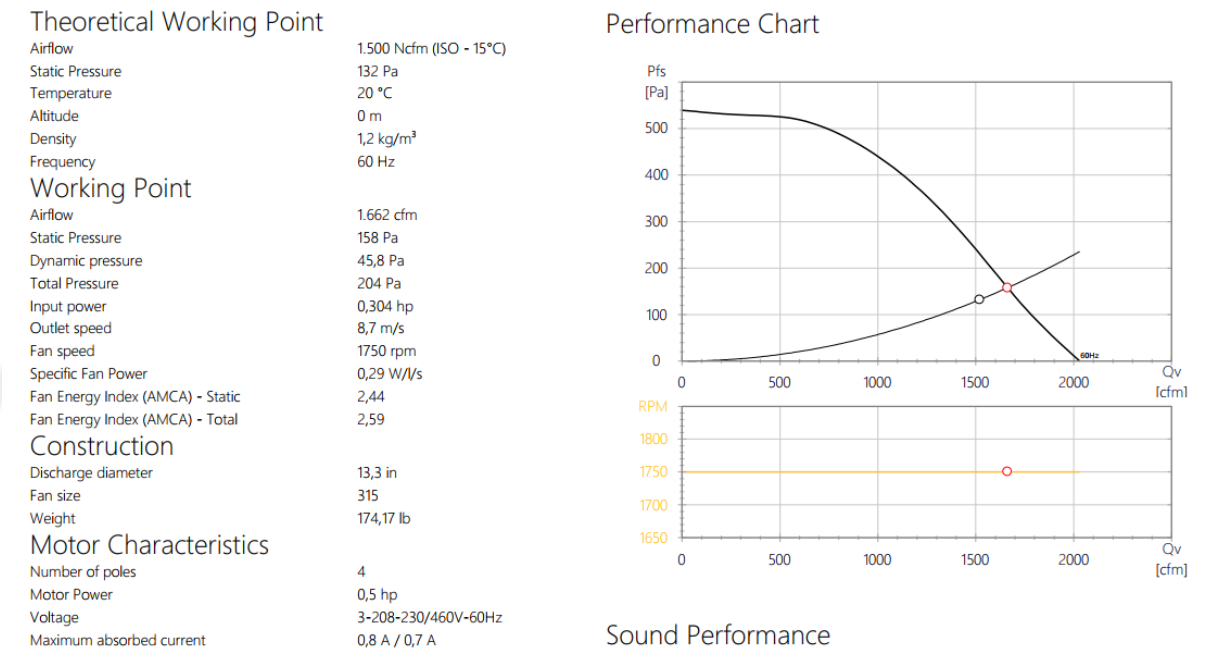
### *3.4.4 Selección Equipos de extracción en sala de operaciones*

Para la sala de operaciones se requiere un ventilador de extracción capaz de vencer 48.77 Pa de presión y un flujo de 1500 cfm, el ventilador seleccionado es de la marca Soler y

Palau los datos del punto de funcionamiento y la curva del ventilador se muestran en la siguiente figura

**Figura 42**

*Ventilador de extracción sala de operaciones*




*Nota.* Adaptado de S&P EasyVent - SP432107SCO592V0.

## 3.5 Reporte de Colisiones

Cuando se compatibilizan la arquitectura con los sistemas de suministro de aire acondicionado y la extracción del aire acondicionado, los ductos y los equipos, se tendrán eventualmente colisiones e interferencias, el software Revit tiene la herramienta de comprobación de interferencias, esta herramienta permite generar un informe detallado con todos los elementos que colisionan con otros, este informe se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 33**

*Reporte de Colisiones entre ductos y arquitectura*

| Numero | Modelo 2 Conducto | Modulo 1 Arquitectura |
|---|---|---|
| 1 | Conductos: Conducto rectangular: Codos / Injertos: ID 945972 | Hospital ARQ_EST.rvt: Muros: Muro básico: Muro 120mm: ID 151075 |
| 2 | Conductos: Conducto rectangular: Codos / Injertos: ID 949069 | Hospital ARQ_EST.rvt: Muros: Muro básico: Muro 120mm: ID 151075 |
| 3 | Conductos: Conducto rectangular: Codos / Injertos: ID 823774 | Hospital ARQ_EST.rvt: Suelos: Suelo: Genérico 150 mm: ID 290849 |
| 4 | Conductos: Conducto rectangular: Codos en ángulo recto / Tes: ID 1031092 | Hospital ARQ_EST.rvt: Suelos: Suelo: Genérico 150 mm: ID 290849 |
| 5 | Terminales de aire: Difusor Lineal: Norma - Marca 1001: ID 778443 | Hospital ARQ_EST.rvt: Techos: Techo compuesto: Rejilla 600 x 1200 mm: ID 457939 |
| 6 | Terminales de aire: Difusor Lineal: Norma - Marca 79: ID 779292 | Hospital ARQ_EST.rvt: Techos: Techo compuesto: Rejilla 600 x 1200 mm: ID 457939 |
| 7 | Terminales de aire: Difusor Lineal: Norma - Marca 82: ID 779350 | Hospital ARQ_EST.rvt: Techos: Techo compuesto: Rejilla 600 x 1200 mm: ID 457939 |
| 8 | Terminales de aire: Difusor Lineal: Norma - Marca 83: ID 779362 | Hospital ARQ_EST.rvt: Techos: Techo compuesto: Rejilla 600 x 1200 mm: ID 457939 |
| 9 | Terminales de aire: Difusor Lineal: Norma - Marca 84: ID 779665 | Hospital ARQ_EST.rvt: Techos: Techo compuesto: Rejilla 600 x 1200 mm: ID 457939 |

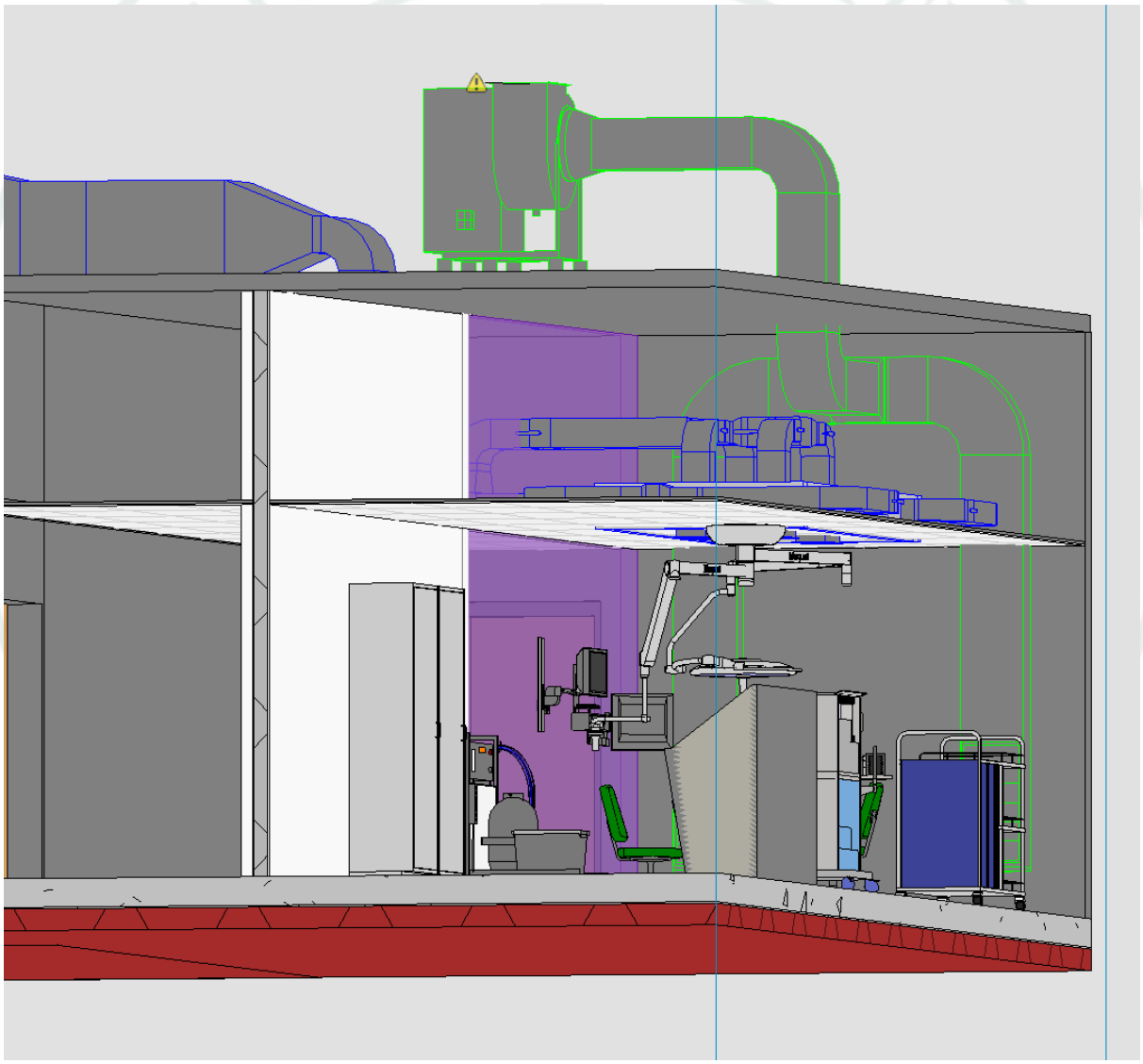
| | | |
|---|---|---|
| 10 | Terminales de aire: Difusor Lineal: Difusor Lineal - Marca 85: ID 779666 | Hospital ARQ_EST.rvt: Techos: Techo compuesto: Rejilla 600 x 1200 mm: ID 457939 |
| 11 | Terminales de aire: M_Rejilla de suministro - Una desviación - Cuello rectangular de cara rectangular: 410x210 - Marca 99: ID 807966 | Hospital ARQ_EST.rvt: Techos: Techo compuesto: Rejilla 600 x 1200 mm: ID 457939 |
| 12 | Terminales de aire: M_Rejilla de suministro - Una desviación - Cuello rectangular de cara rectangular: 410x210 - Marca 100: ID 807973 | Hospital ARQ_EST.rvt: Techos: Techo compuesto: Rejilla 600 x 1200 mm: ID 457939 |
| 13 | Terminales de aire: M_Rejilla de suministro - Una desviación - Cuello rectangular de cara rectangular: 410x210 - Marca 105: ID 808234 | Hospital ARQ_EST.rvt: Techos: Techo compuesto: Rejilla 600 x 1200 mm: ID 457939 |
| 14 | Terminales de aire: M_Rejilla de suministro - Una desviación - Cuello rectangular de cara rectangular: 410x210 - Marca 106: ID 808235 | Hospital ARQ_EST.rvt: Techos: Techo compuesto: Rejilla 600 x 1200 mm: ID 457939 |
| 15 | Conductos: Conducto rectangular: Codos en ángulo recto / Tes: ID 1028636 | Hospital ARQ_EST.rvt: Techos: Techo compuesto: Rejilla 600 x 1200 mm: ID 457939 |

| | | |
|---|---|---|
| 16 | Conductos: Conducto rectangular: Codos en ángulo recto / Tes: ID 1039371 | Hospital ARQ_EST.rvt: Techos: Techo compuesto: Rejilla 600 x 1200 mm: ID 457939 |

*Nota.* Elaboración Propia.

**Figura 43**

*Colisión entre ductos y arquitectura*



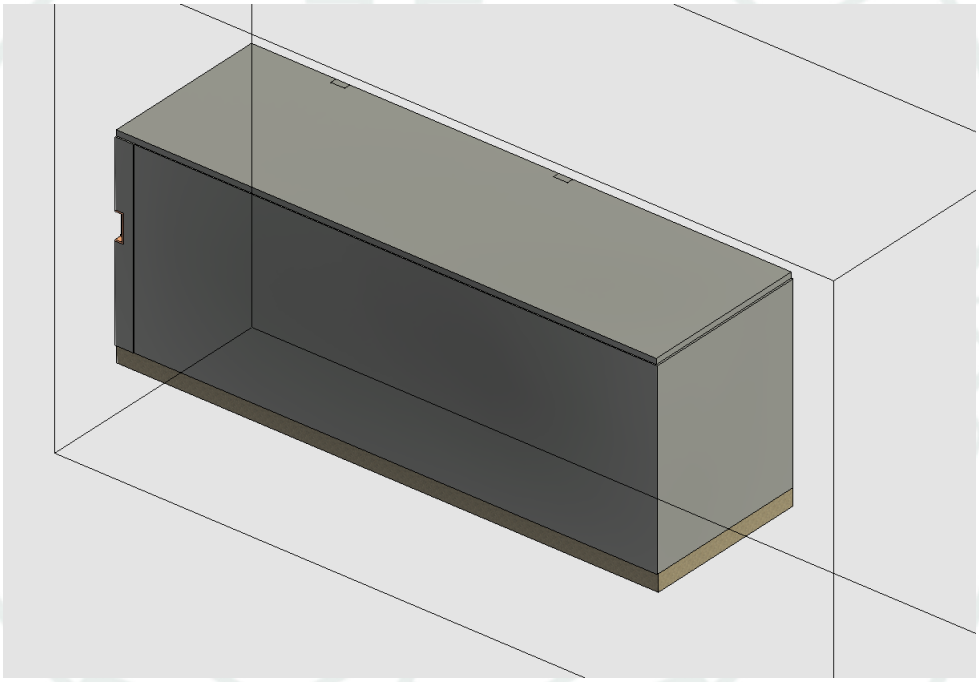
*Nota.* Elaboración Propia.

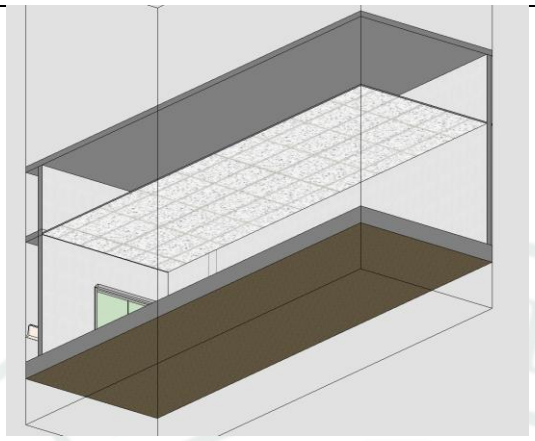
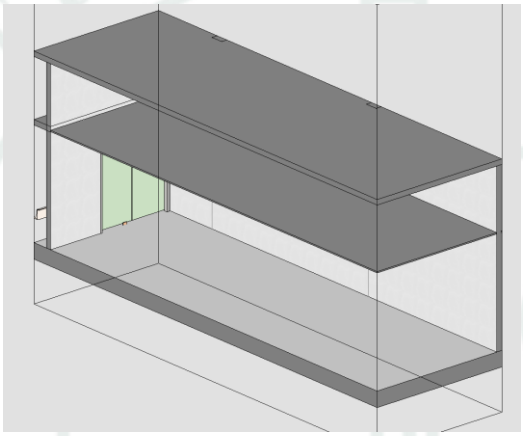
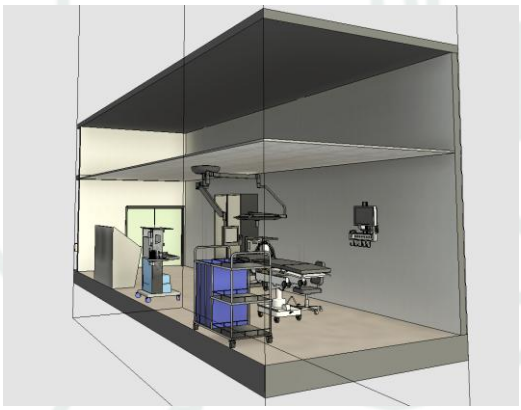
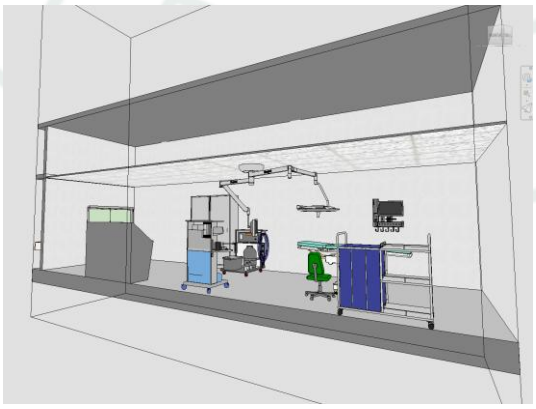
## 3.6 Metodología BIM

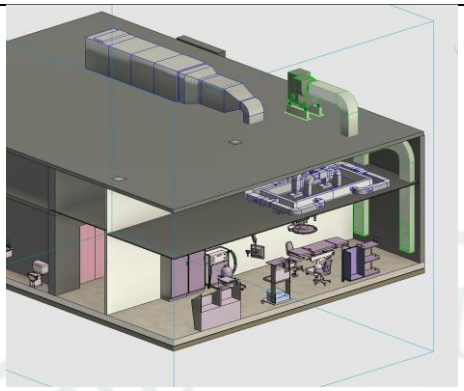
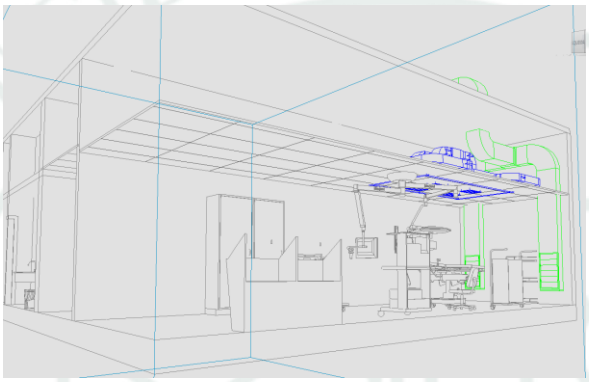
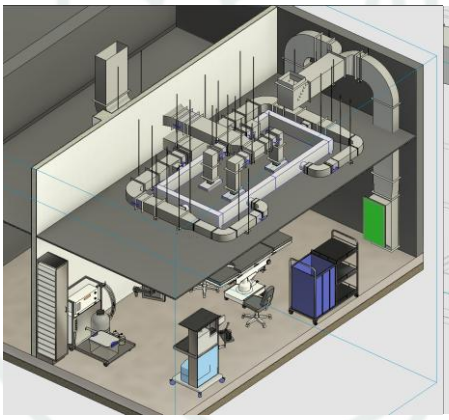
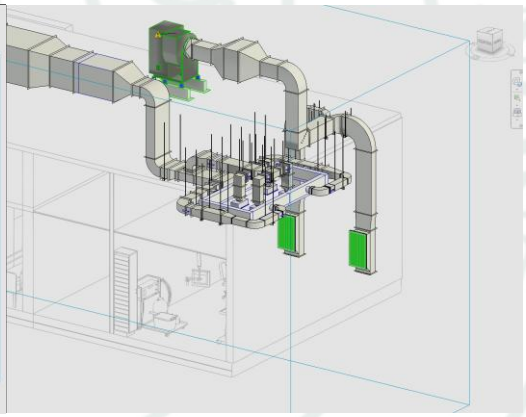
Se realizará un resumen de la metodología BIM aplicada hasta el momento, para lo cual se considera desde el LOD100 al LOD500, aunque este último requiere de un modelo escaneado de la sala de operaciones o un modelo tal como se construyó (as built), este procedimiento se resume en la siguiente tabla.

**Tabla 34**

*Fases de la metodología BIM en Sala de Operaciones*

| Descripción | Desarrollo en Revit |
|---|---|
| LOD 100 |  |

| Descripción | Desarrollo en Revit |
| --- | --- |
| LOD 200 |  |
| |  |
| LOD 300 |  |
| |  |

| Descripción | Desarrollo en Revit |
|---|---|
| LOD 350 |   |
| LOD 400 |   |
| LOD 500 | Fase de Escaneo o modelado As Build (esta fase no está disponible ya que no se tiene acceso a la sala de operaciones del hospital) |

*Nota.* Elaboración propia.

### 3.7 Metrados y Costos.

Los metrados serán extraídos de las tablas de cuantificación de Revit, para determinar los costos unitarios para cada material e insumo se muestran a continuación, para la fabricación se tomará en cuenta el modelado de ductos para fabricación creado en Revit, se

empleará chapa metálica de 0.6 mm de espesor galvanizada, estos ductos estarán metrados tanto para extracción como para suministro.

### *3.7.1 Metrados y costos de ductos de fabricación y uniones*

Los metrados se realizaron en el software Revit.

**Tabla 35**

*Metrados Fabricación de Ductos y Uniones*

| Familia y tipo | Longitud (mm) | Peso (kg) | Área de chapa($m^2$) | Costos |
|---|---|---|---|---|
| Straight: Por defecto | 415 | 2.15 kg | 0.395 $m^2$ | 32.4 |
| Straight: Por defecto | 77 | 0.30 kg | 0.450 $m^2$ | 4.5 |
| Straight: Por defecto | 48 | 0.22 kg | 0.062 $m^2$ | 3.4 |
| Straight: Por defecto | 419 | 1.45 kg | 0.047 $m^2$ | 21.8 |
| Straight: Por defecto | 566 | 1.94 kg | 0.303 $m^2$ | 29.1 |
| Straight: Por defecto | 34 | 0.18 kg | 0.405 $m^2$ | 2.7 |
| Straight: Por defecto | 77 | 0.30 kg | 0.037 $m^2$ | 4.5 |
| Straight: Por defecto | 552 | 1.89 kg | 0.062 $m^2$ | 28.4 |
| Straight: Por defecto | 415 | 2.15 kg | 0.395 $m^2$ | 32.4 |
| Straight: Por defecto | 16 | 0.51 kg | 0.450 $m^2$ | 7.7 |
| Straight: Por defecto | 331 | 2.00 kg | 0.107 $m^2$ | 30.1 |
| Straight: Por defecto | 50 | 0.66 kg | 0.418 $m^2$ | 10 |
| Straight: Por defecto | 76 | 1.16 kg | 0.139 $m^2$ | 17.5 |
| Straight: Por defecto | 398 | 1.72 kg | 0.243 $m^2$ | 25.9 |
| Straight: Por defecto | 318 | 1.44 kg | 0.360 $m^2$ | 21.6 |
| Straight: Por defecto | 33 | 0.43 kg | 0.301 $m^2$ | 6.4 |
| Straight: Por defecto | 120 | 1.21 kg | 0.089 $m^2$ | 18.1 |
| Straight: Por defecto | 100 | 1.09 kg | 0.252 $m^2$ | 16.4 |
| Straight: Por defecto | 276 | 1.29 kg | 0.228 $m^2$ | 19.4 |
| Straight: Por defecto | 22 | 0.39 kg | 0.269 $m^2$ | 5.9 |
| Straight: Por defecto | 276 | 1.29 kg | 0.082 $m^2$ | 19.4 |
| Straight: Por defecto | 222 | 2.64 kg | 0.269 $m^2$ | 39.7 |

| Familia y tipo | Longitud (mm) | Peso (kg) | Área de chapa($m^2$) | Costos |
|---|---|---|---|---|
| Straight: Por defecto | 1311 | 11.79 kg | 0.552 $m^2$ | 177.3 |
| Straight: Por defecto | 223 | 2.65 kg | 2.466 $m^2$ | 39.8 |
| Straight + Branch: Por defecto | 450 | 4.10 kg | 0.554 $m^2$ | 61.6 |
| Reducing Bend: Por defecto | | 2.72 kg | 0.858 $m^2$ | 40.9 |
| Reducing Bend: Por defecto | | 1.41 kg | 0.570 $m^2$ | 21.1 |
| Reducing Bend: Por defecto | | 1.47 kg | 0.294 $m^2$ | 22.2 |
| Reducing Bend: Por defecto | | 1.41 kg | 0.308 $m^2$ | 21.1 |
| Reducing Bend: Por defecto | | 1.47 kg | 0.294 $m^2$ | 22.2 |
| Transition: Por defecto | 300 | 1.84 kg | 0.308 $m^2$ | 27.7 |
| Reducing Bend: Por defecto | | 2.72 kg | 0.385 $m^2$ | 40.9 |
| Square Bend: Por defecto | | 1.38 kg | 0.570 $m^2$ | 20.8 |
| Square Bend: Por defecto | | 1.38 kg | 0.290 $m^2$ | 20.8 |
| Square Bend: Por defecto | | 1.70 kg | 0.290 $m^2$ | 25.6 |
| Reducing Bend: Por defecto | | 5.18 kg | 0.356 $m^2$ | 77.9 |
| Reducing Bend: Por defecto | | 5.18 kg | 1.083 $m^2$ | 77.9 |
| Transition: Por defecto | 180 | 2.17 kg | 1.083 $m^2$ | 32.7 |
| Transition: Por defecto | 285 | 1.71 kg | 0.455 $m^2$ | 25.8 |
| Transition: Por defecto | 125 | 0.64 kg | 0.359 $m^2$ | 9.6 |
| Transition: Por defecto | 125 | 0.64 kg | 0.133 $m^2$ | 9.6 |
| Transition: Por defecto | 125 | 0.64 kg | 0.133 $m^2$ | 9.6 |
| Straight: Por defecto | 79 | 0.59 kg | 0.133 $m^2$ | 8.9 |
| Transition: Por defecto | 125 | 0.64 kg | 0.123 $m^2$ | 9.6 |
| Transition: Por defecto | 500 | 9.82 kg | 0.133 $m^2$ | 147.6 |
| Straight: Por defecto | 572 | 2.99 kg | 1.588 $m^2$ | 44.9 |
| Branch: Por defecto | 100 | 0.41 kg | 0.625 $m^2$ | 6.1 |
| Transition: Por defecto | 280 | 1.41 kg | 0.086 $m^2$ | 21.2 |
| Straight: Por defecto | 93 | 0.77 kg | 0.295 $m^2$ | 11.6 |
| Transition: Por defecto | 285 | 1.71 kg | 0.162 $m^2$ | 25.8 |
| Straight: Por defecto | 496 | 2.64 kg | 0.359 $m^2$ | 39.7 |
| Branch: Por defecto | 100 | 0.41 kg | 0.553 $m^2$ | 6.1 |

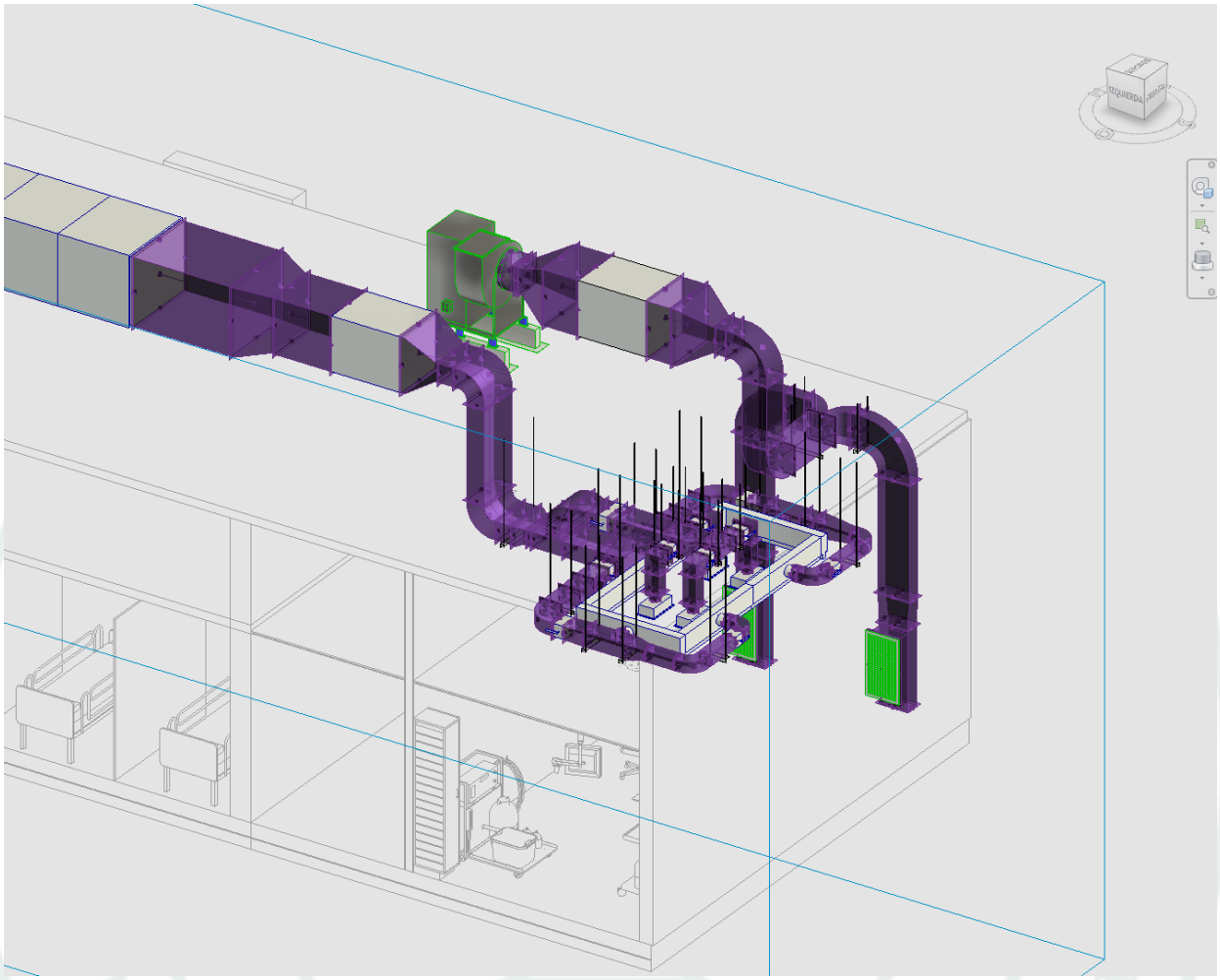
| Familia y tipo | Longitud (mm) | Peso (kg) | Área de chapa($m^2$) | Costos |
|---|---|---|---|---|
| Transition: Por defecto | 500 | 2.36 kg | 0.086 $m^2$ | 35.5 |
| Straight: Por defecto | 198 | 1.30 kg | 0.494 $m^2$ | 19.5 |
| Branch: Por defecto | 123 | 0.48 kg | 0.271 $m^2$ | 7.2 |
| Straight: Por defecto | 331 | 2.00 kg | 0.100 $m^2$ | 30.1 |
| Straight: Por defecto | 63 | 0.72 kg | 0.418 $m^2$ | 10.9 |
| Transition: Por defecto | 300 | 1.84 kg | 0.152 $m^2$ | 27.7 |
| Branch: Por defecto | 123 | 0.48 kg | 0.385 $m^2$ | 7.2 |
| Straight: Por defecto | 77 | 0.79 kg | 0.100 $m^2$ | 11.9 |
| Straight + Branch: Por defecto | 700 | 4.20 kg | 0.166 $m^2$ | 63.2 |
| Transition: Por defecto | 489 | 4.26 kg | 0.880 $m^2$ | 64.1 |
| Straight: Por defecto | 52 | 1.00 kg | 0.892 $m^2$ | 15 |
| Transition: Por defecto | 245 | 2.22 kg | 0.209 $m^2$ | 33.4 |
| Reducing Bend: Por defecto | | 3.72 kg | 0.465 $m^2$ | 56 |
| Straight: Por defecto | 1404 | 38.66 kg | 0.779 $m^2$ | 581.4 |
| Transition: Por defecto | 500 | 14.03 kg | 6.255 $m^2$ | 211 |
| Straight: Por defecto | 828 | 17.54 kg | 2.270 $m^2$ | 263.7 |
| Square Bend: Por defecto | | 1.36 kg | 2.838 $m^2$ | 20.4 |
| Straight: Por defecto | 74 | 0.57 kg | 0.284 $m^2$ | 8.6 |
| Straight + Branches: Por defecto | 275 | 2.91 kg | 0.119 $m^2$ | 43.7 |
| Straight: Por defecto | 21 | 0.39 kg | 0.608 $m^2$ | 5.9 |
| Straight: Por defecto | 12 | 0.35 kg | 0.082 $m^2$ | 5.3 |
| Straight: Por defecto | 689 | 4.47 kg | 0.074 $m^2$ | 67.2 |
| Straight + Branch: Por defecto | 350 | 1.72 kg | 0.935 $m^2$ | 25.9 |
| Straight: Por defecto | 170 | 0.91 kg | 0.360 $m^2$ | 13.7 |
| Transition: Por defecto | 251 | 1.78 kg | 0.191 $m^2$ | 26.7 |
| Straight: Por defecto | 1596 | 11.06 kg | 0.371 $m^2$ | 166.3 |
| Straight: Por defecto | 116 | 1.29 kg | 2.313 $m^2$ | 19.4 |
| Straight: Por defecto | 1012 | 7.67 kg | 0.269 $m^2$ | 115.3 |
| Straight: Por defecto | 992 | 7.53 kg | 1.418 $m^2$ | 113.2 |

| Familia y tipo | Longitud (mm) | Peso (kg) | Área de chapa($m^2$) | Costos |
|---|---|---|---|---|
| Straight: Por defecto | 151 | 1.68 kg | 1.389 $m^2$ | 25.3 |
| Straight: Por defecto | 50 | 0.98 kg | 0.352 $m^2$ | 14.8 |
| Drop Cheek Breeches Piece : Por defecto | | 5.54 kg | 0.206 $m^2$ | 83.3 |
| Straight: Por defecto | 278 | 2.29 kg | 1.159 $m^2$ | 34.5 |
| Square Bend: Por defecto | | 4.73 kg | 0.480 $m^2$ | 71.1 |
| Reducing Bend: Por defecto | | 5.49 kg | 1.149 $m^2$ | 82.6 |
| Reducing Bend: Por defecto | | 6.01 kg | 1.149 $m^2$ | 90.3 |
| Reducing Bend: Por defecto | | 6.01 kg | 1.256 $m^2$ | 90.3 |
| Transition: Por defecto | 500 | 9.26 kg | 1.256 $m^2$ | 139.3 |
| Square to Round (Symmetrical): Por defecto | 172 | 2.01 kg | 1.499 $m^2$ | 30.3 |
| Straight + Branch: Por defecto | 800 | 9.81 kg | 0.421 $m^2$ | 147.6 |
| Straight + Branch: Por defecto | 1100 | 10.82 kg | 1.750 $m^2$ | 162.7 |
| Transition: Por defecto | 394 | 3.08 kg | 0.644 $m^2$ | 46.3 |
| Straight: Por defecto | 21 | 1.76 kg | 0.285 $m^2$ | 26.5 |
| Cap End TDC DM 35: Por defecto | | 0.81 kg | 0.170 $m^2$ | 12.2 |
| Straight: Por defecto | 1596 | 11.06 kg | 2.313 $m^2$ | 166.3 |
| Straight + Branch: Por defecto | 1100 | 10.82 kg | 1.750 $m^2$ | 162.7 |
| Transition: Por defecto | 394 | 3.08 kg | 0.644 $m^2$ | 46.3 |
| Straight: Por defecto | 21 | 1.76 kg | 0.285 $m^2$ | 26.5 |
| Cap End TDC DM 35: Por defecto | | 0.81 kg | 0.170 $m^2$ | 12.2 |
| Transition: Por defecto | 353 | 8.64 kg | 1.398 $m^2$ | 129.9 |
| Transition: Por defecto | 500 | 9.26 kg | 1.499 $m^2$ | 139.3 |
| Straight: Por defecto | 495 | 11.20 kg | 1.813 $m^2$ | 168.5 |
| | | | 67.187 $m^2$ | 5482.1 |

*Nota.* Elaboración Propia.

**Figura 44**

*Ductos y uniones de suministro y extracción.*



*Nota.* Elaboración propia, Estos ductos son de fabricación con pesos calculados para chapas de 0.6mm galvanizadas, con una densidad de acero de 7850 kg/m3.

### *3.7.2 Metrados de Dampers*

**Tabla 36**

*Dampers de Balanceo*

| Clasificación de sistema | Familia y tipo | Tamaño |
|---|---|---|
| Suministro de aire | Balancing Damper - Rectangular: Standard | 10"x9"-10"x9" |
| Suministro de aire | Balancing Damper - Rectangular: Standard | 10"x9"-10"x9" |
| Suministro de aire | Balancing Damper - Rectangular: Standard | 15"x8"-15"x8" |
| Suministro de aire | Balancing Damper - Rectangular: Standard | 10"x8"-10"x8" |
| Suministro de aire | Balancing Damper - Rectangular: Standard | 10"x7"-10"x7" |
| Suministro de aire | Balancing Damper - Rectangular: Standard | 7"x6"-7"x6" |
| Suministro de aire | Balancing Damper - Rectangular: Standard | 10"x7"-10"x7" |
| Suministro de aire | Balancing Damper - Rectangular: Standard | 7"x6"-7"x6" |
| Suministro de aire | Balancing Damper - Rectangular: Standard | 8"x6"-8"x6" |
| Suministro de aire | Balancing Damper - Rectangular: Standard | 8"x6"-8"x6" |
| Suministro de aire | Balancing Damper - Rectangular: Standard | 8"x6"-8"x6" |
| Suministro de aire | Balancing Damper - Rectangular: Standard | 8"x6"-8"x6" |

*Nota.* Elaboración Propia.

### *3.7.3 Metrados de terminales de Aire*

**Tabla 37**

*Metrados de difusores y rejillas de extracción*

| Código-ID | Clasificación de sistema | Familia y tipo | Tamaño de Ducto | Área (in2) |
|---|---|---|---|---|
| 778443 | Suministro de aire | Difusor Lineal: Norma | 6"x6" | 162.75 |
| 779292 | Suministro de aire | Difusor Lineal: Norma | 6"x6" | 162.75 |
| 779350 | Suministro de aire | Difusor Lineal: Norma | 6"x6" | 162.75 |

| Código-ID | Clasificación de sistema | Familia y tipo | Tamaño de Ducto | Área (in2) |
|---|---|---|---|---|
| 779362 | Suministro de aire | Difusor Lineal: Norma | 6"x6" | 162.75 |
| 779665 | Suministro de aire | Difusor Lineal: Norma | 6"x6" | 162.75 |
| 779666 | Suministro de aire | Difusor Lineal: Difusor Lineal | 6"x6" | 162.75 |
| 807966 | Suministro de aire | M_Rejilla de suministro - Una desviación - Cuello rectangular de cara rectangular: 410x210 | 6"x6" | 176.55 |
| 807973 | Suministro de aire | M_Rejilla de suministro - Una desviación - Cuello rectangular de cara rectangular: 410x210 | 6"x6" | 176.55 |
| 808234 | Suministro de aire | M_Rejilla de suministro - Una desviación - Cuello rectangular de cara rectangular: 410x210 | 6"x6" | 176.55 |
| 808235 | Suministro de aire | M_Rejilla de suministro - Una desviación - Cuello rectangular de cara rectangular: 410x210 | 6"x6" | 176.55 |
| 1061114 | Aire viciado | M_Return Grille with Trim - Ceiling Mounted: Rejilla 16"x32" | 16"x32" | 512.00 |
| 1084590 | Aire viciado | M_Return Grille with Trim - Ceiling Mounted: Rejilla 16"x32" | 16"x32" | 512.00 |

*Nota.* Elaboración Propia.

### *3.7.4 Metrados de Equipos HVAC y Filtros*

**Tabla 38**

*Metrados de Equipos HVAC y Filtros*

| Código-ID | Familia y tipo | Cantidad |
|---|---|---|
| 905400 | FILTRO HEPA 30"x30"x20" 99.99% EFICIENCIA 1500 CFM | 1 |
| 1042255 | SUMINISTRO DE EXTRACTOR CENTRIFUGO SIMPLE ENTRADA (EC-E.01) 1500 CFMM@0.55inWG 0.5HP-380V-3F-60Hz; INCLUYE FILTRO TIPO PLEGABLE 30% EFIC. (MERV 7) + RIGIDO 90% EFIC. (MERV 14) 48Kg | 1 |
| 1043834 | SUMINISTRO DE UNIDAD MANEJADOR DE AIRE Y CONDENSADOR - 46200 BTU/H UC= 5.1 KW-220V-1F-60Hz | 1 |
| 1088134 | FILTRO HEPA 30"x30"x20" 99.99% EFICIENCIA 1500 CFM | 1 |

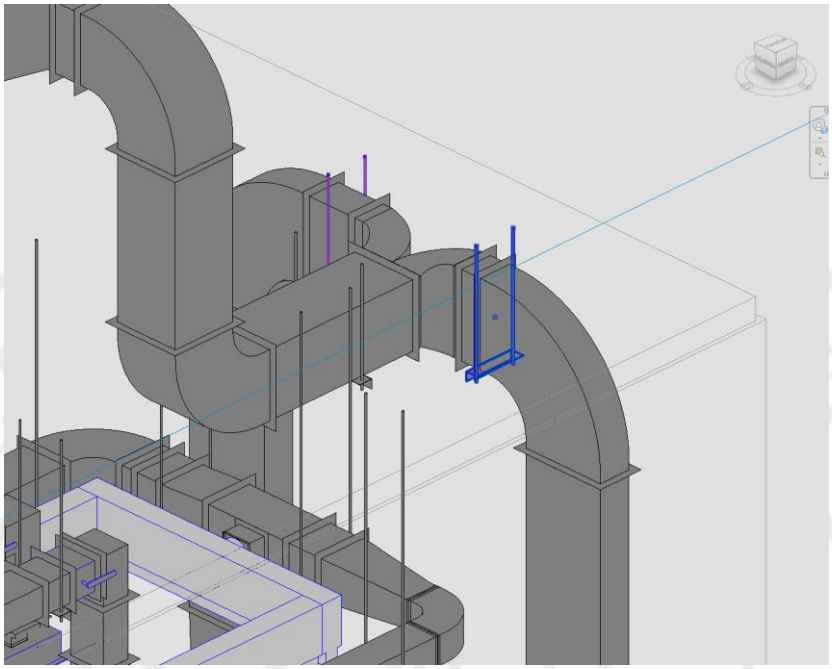
*Nota.* Elaboración Propia.

### *3.7.5 Soportes colgantes de Ductos*

Se tiene un total de 19 soportes colgantes conformados por ángulos y barras colgantes.

**Figura 45**

*Soporte colgante*



*Nota.* Elaboración Propia.

### *3.7.6 Análisis de precios unitarios*

Los cálculos de precios unitarios se muestran a continuación, para definir todos los procesos de fabricación empleados que son:

### *3.7.7 Análisis de costos unitarios ductos sistema hvac*

Se evaluarán todos los componentes necesarios para fabricar los ductos, tanto accesorios, filtros, uniones de ductos, entre otros. Estos elementos se ven claramente en el resumen Tabla 50. Los costos están en nuevo soles con fecha de cotización 01/10/2026.

**Tabla 39**

*ACU Ductos de plancha galvanizada para hvac*

| Partida 1.01 | | | Rend: | 2,000 kg/DIA | |
|---|---|---|---|---|---|
| Descripción Insumo | Und. | Cuadrilla | Cantidad | Precio | Parcial |
| Mano de Obra | | | | | |
| PEON | hh | 2.000 | 0.0080 | 19.48 | 0.16 |
| OFICIAL INSTALADOR DE HVAC | HH | 1.000 | 0.0040 | 21.53 | 0.09 |
| OPERARIO INSTALADOR DE HVAC | HH | 1.000 | 0.0040 | 29.18 | 0.12 |
| | | | | | 0.37 |
| Materiales | | | | | |
| ACCESORIOS DE ANCLAJE EN GENERAL (ARANDELA, TUERCA, TARUGO) | glb | | 0.1710 | 17.52 | 3.00 |
| AUTOPERFORANTES 1/4"X1 1/2" | und | | 0.0050 | 105.61 | 0.53 |
| SILICONA SIKAFLEX PARA SELLADO HERMÉTICO X TUBO | CM3 | | 0.0035 | 32.80 | 0.11 |
| CORREDERAS DE UNIÓN (GRAPAS) EN PLANCHA 0.80MM | und | | 0.0050 | 6.61 | 0.03 |
| PLANCHA GALVANIZADA 0.6MM-0.8MMX1.2MX2.4M | Kg | | 0.0630 | 174.46 | 10.99 |
| | | | | | 14.66 |
| Equipo | | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | %mo | | 3.0000 | 0.37 | 0.01 |
| | | | | | 0.01 |
| | | | Costo Unitario por kg: | | 15.04 |

*Nota.* Elaboración Propia.

**Tabla 40**

*Aislamiento térmico para ductos metálicos*

| Partida 1.02 | | | Rend: | 25 m2/DIA | |
|---|---|---|---|---|---|
| Descripción Insumo | Und. | Cuadrilla | Cantidad | Precio | Parcial |
| Mano de Obra | | | | | |
| PEON | hh | 1.000 | 3.125 | 19.48 | 60.875 |
| OFICIAL INSTALADOR DE HVAC | HH | 1.000 | 3.125 | 21.53 | 67.28125 |
| OPERARIO INSTALADOR DE HVAC | HH | 1.000 | 3.125 | 29.18 | 91.1875 |
| | | | | | 22.46 |
| Materiales | | | | | |
| AISLAMIENTO TERMICO PARA DUCTOS METALICOS A BASE DE FIBRA DE VIDRIO 1.5" | m2 | | 1.2000 | 38.53 | 46.24 |
| CINTA DE ALUMINIO DE 2"X50YARDAS | m | | 0.0150 | 53.45 | 0.80 |
| ZUNCHO DE PLASTICO DE 1/2" | rll | | 0.1000 | 20.18 | 2.02 |
| | | | | | 49.06 |
| Equipo | | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | %mo | | 3.0000 | 561.52 | 16.85 |
| | | | | | 16.85 |
| | | | Costo Unitario por m2: | | 88.37 |

*Nota.* Elaboración Propia.

**Tabla 41**

*ACU Soporte metálico para ducto en montante*

| Partida 1.03 | | | Rend: | 20 PZA/DIA | |
|---|---|---|---|---|---|
| Descripción Insumo | Und. | Cuadrilla | Cantidad | Precio | Parcial |
| Mano de Obra | | | | | |
| CAPATAZ | hh | 0.100 | 0.0400 | 31.51 | 1.26 |
| PEON | hh | 1.000 | 0.4000 | 19.48 | 7.79 |
| OFICIAL INSTALADOR DE HVAC | HH | 1.000 | 0.4000 | 21.53 | 8.61 |
| OPERARIO INSTALADOR DE HVAC | HH | 1.000 | 0.4000 | 29.18 | 11.67 |
| | | | | | 29.33 |
| Materiales | | | | | |
| PERNOS, TUERCAS Y ARANDELAS | glb | | 0.2000 | 3.54 | 0.71 |
| VARILLA ROSCADA DE 3/8" | und | | 0.1130 | 26.55 | 3.00 |
| RIEL STRUT RANURADO DE 41x41mm. DE 2,7mm DE ESPESOR, CON RECUBRIMIENTO G° P/SOPORTE MET | pza | | 0.1852 | 41.30 | 7.65 |
| RIEL UNISTRUT | und | | 0.2000 | 26.55 | 5.31 |
| VARILLA ROSCADA DE 3/8" X 6.00 MTS. | pza | | 0.1667 | 16.52 | 2.75 |
| | | | | | 19.42 |
| Equipo | | | | | |
| ANDAMIO METALICO INCL. TABLA | he | 0.250 | 0.1000 | 5.08 | 0.51 |
| HERRAMIENTAS MANUALES | %mo | | 6.0000 | 29.33 | 1.76 |
| | | | | | 2.27 |
| | | | Costo Unitario por PZA: | | 51.02 |

*Nota.* Elaboración Propia.

**Tabla 42**

*ACU Soporte metálico para ductos en piso*

| Partida 1.04 | | | Rend: | 59 pza/DIA | |
|---|---|---|---|---|---|
| Descripción Insumo | Und. | Cuadrilla | Cantidad | Precio | Parcial |
| Mano de Obra | | | | | |
| CAPATAZ | hh | 0.100 | 0.0136 | 31.51 | 0.43 |
| OPERARIO | hh | 1.000 | 0.1356 | 27.40 | 3.72 |
| PEON | hh | 0.500 | 0.0678 | 19.48 | 1.32 |
| | | | | | 5.47 |
| Materiales | | | | | |
| PERNOS, TUERCAS Y ARANDELAS | glb | | 0.1000 | 3.54 | 0.35 |
| TACO DE EXPANSIÓN 3/8"" X 1 1/2"" | und | | 2.0000 | 2.36 | 4.72 |
| VARILLA ROSCADA DE 3/8" | und | | 0.1000 | 26.55 | 2.66 |
| PINTURA ANTICORROSIVA | gln | | 0.0050 | 38.14 | 0.19 |
| RIEL UNISTRUT | und | | 0.1000 | 26.55 | 2.66 |
| | | | | | 10.58 |
| Equipo | | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | %mo | | 3.0000 | 5.47 | 0.16 |
| | | | | | 0.16 |
| | | | Costo Unitario por kg: | | 16.21 |

*Nota.* Elaboración Propia.

**Tabla 43**

*ACU Soporte metálico para ductos suspendidos en techo*

| Partida 1.05 | | | Rend: | 40 und/DIA | |
|---|---|---|---|---|---|
| Descripción Insumo | Und. | Cuadrilla | Cantidad | Precio | Parcial |
| Mano de Obra | | | | | |
| CAPATAZ | hh | 0.100 | 0.0200 | 31.51 | 0.63 |
| PEON | hh | 0.500 | 0.1000 | 19.48 | 1.95 |
| OPERARIO INSTALADOR DE HVAC | HH | 1.000 | 0.2000 | 29.18 | 5.84 |
| | | | | | 8.42 |

| Partida 1.05 | | | Rend: | 40 und/DIA | |
|---|---|---|---|---|---|
| Descripción Insumo | Und. | Cuadrilla | Cantidad | Precio | Parcial |
| Materiales | | | | | |
| PERNOS, TUERCAS Y ARANDELAS | glb | | 0.1000 | 3.54 | 0.35 |
| TACO DE EXPANSIÓN 3/8"" X 1 1/2"" | und | | 2.0000 | 2.36 | 4.72 |
| PINTURA ANTICORROSIVA | gln | | 0.0050 | 38.14 | 0.19 |
| RIEL UNISTRUT | und | | 0.1000 | 26.55 | 2.66 |
| VARILLA ROSCADA DE 3/8" X 6.00 MTS. | pza | | 0.3333 | 16.52 | 5.51 |
| | | | | | 13.43 |
| Equipo | | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | %mo | | 3.0000 | 8.42 | 0.25 |
| | | | | | 0.25 |
| | | | Costo Unitario por und: | | 22.10 |

*Nota.* Elaboración Propia.

**Tabla 44**

*ACU Damper cortafuego rectangular de 8"x6"*

| Partida 1.06 | | | Rend: | 6 und/DIA | |
|---|---|---|---|---|---|
| Descripción Insumo | Und. | Cuadrilla | Cantidad | Precio | Parcial |
| Mano de Obra | | | | | |
| OFICIAL | hh | 1.000 | 1.3333 | 21.53 | 28.71 |
| PEON | hh | 1.000 | 1.3333 | 19.48 | 25.97 |
| OPERARIO INSTALADOR DE HVAC | HH | 1.000 | 1.3333 | 29.18 | 38.91 |
| | | | | | 93.59 |
| Materiales | | | | | |

| Partida 1.06 | | | Rend: | 6 und/DIA | |
|---|---|---|---|---|---|
| Descripción Insumo | Und. | Cuadrilla | Cantidad | Precio | Parcial |
| DAMPER CORTAFUEGO RECTANGULAR DE 10"x6" | und | | 1.0000 | 701.00 | 701.00 |
| FUNDENTE PARA SOLDAR | KG | | 0.0267 | 87.60 | 2.34 |
| THINNER ESTÁNDAR | gal | | 0.0150 | 436.60 | 6.55 |
| | | | | | 709.89 |
| Equipo | | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | %mo | | 3.0000 | 93.59 | 2.81 |
| | | | | | 2.81 |
| | | | Costo Unitario por und: | | 806.29 |

*Nota.* Elaboración Propia.

**Tabla 45**

*ACU Caja porta filtró 30"x30"*

| Partida 1.07 | | | Rend: | 3 und/DIA | |
|---|---|---|---|---|---|
| Descripción Insumo | Und. | Cuadrilla | Cantidad | Precio | Parcial |
| Mano de Obra | | | | | |
| CAPATAZ | hh | 0.100 | 0.2667 | 31.51 | 8.40 |
| OFICIAL INSTALADOR DE HVAC | HH | 1.000 | 2.6667 | 21.53 | 57.41 |
| OPERARIO INSTALADOR DE HVAC | HH | 1.000 | 2.6667 | 29.18 | 77.81 |
| | | | | | 143.62 |
| Materiales | | | | | |
| CAJA PORTAFILTROS DE PLANCHA GALVANIZADA de 24"x24" | und | | 1.0000 | 460.00 | 460.00 |
| | | | | | 460.00 |
| Equipo | | | | | |

| Partida 1.07 | | | Rend: | 3 und/DIA | |
|---|---|---|---|---|---|
| Descripción Insumo | Und. | Cuadrilla | Cantidad | Precio | Parcial |
| HERRAMIENTAS MANUALES | %mo | | 5.0000 | 143.62 | 7.18 |
| | | | | | 7.18 |
| | | | Costo Unitario por und: | | 610.80 |

*Nota.* Elaboración Propia.

**Tabla 46**

*ACU Bases y soportes Metálicos para Equipos Roof Top*

| Partida 1.08 | | | Rend: | 4 und/DIA | |
|---|---|---|---|---|---|
| Descripción Insumo | Und. | Cuadrilla | Cantidad | Precio | Parcial |
| Mano de Obra | | | | | |
| CAPATAZ | hh | 0.100 | 0.2000 | 31.51 | 6.30 |
| OFICIAL INSTALADOR DE HVAC | HH | 1.000 | 2.0000 | 21.53 | 43.06 |
| OPERARIO INSTALADOR DE HVAC | HH | 1.000 | 2.0000 | 29.18 | 58.36 |
| | | | | | 107.72 |
| Materiales | | | | | |
| PERNO 3/8" X 4" C/TUERCA Y VOLANDAS | und | | 4.0000 | 2.25 | 9.00 |
| TACO DE EXPANSIÓN 3/8"" X 1 1/2"" | und | | 4.0000 | 2.36 | 9.44 |
| BASE METALICO PARA EQUIPO ROOF TOP | und | | 1.0000 | 380.00 | 380.00 |
| PERNO ACERO, ARANDELA Y TUERCA | und | | 4.0000 | 1.42 | 5.68 |
| | | | | | 404.12 |
| Equipo | | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | %mo | | 5.0000 | 107.72 | 5.39 |

| Partida 1.08 | | | Rend: | 4 und/DIA | |
|---|---|---|---|---|---|
| Descripción Insumo | Und. | Cuadrilla | Cantidad | Precio | Parcial |
| | | | | | 5.39 |
| | | | Costo Unitario por und: | | 517.23 |

*Nota.* Elaboración Propia.

**Tabla 47**

*ACU Bases y soportes metálicos para equipos de ventilación mecánica.*

| Partida 1.09 | | | Rend: | 6 und/DIA | |
|---|---|---|---|---|---|
| Descripción Insumo | Und. | Cuadrilla | Cantidad | Precio | Parcial |
| Mano de Obra | | | | | |
| CAPATAZ | hh | 0.100 | 0.1333 | 31.51 | 4.20 |
| OFICIAL INSTALADOR DE HVAC | HH | 1.000 | 1.3333 | 21.53 | 28.71 |
| OPERARIO INSTALADOR DE HVAC | HH | 1.000 | 1.3333 | 29.18 | 38.91 |
| | | | | | 71.82 |
| Materiales | | | | | |
| PERNO 3/8" X 4" C/TUERCA Y VOLANDAS | und | | 4.0000 | 2.25 | 9.00 |
| TACO DE EXPANSIÓN 3/8"" X 1 1/2"" | und | | 4.0000 | 2.36 | 9.44 |
| BASE METALICA PARA VENTILADORES CENTRIFUGOS | und | | 1.0000 | 450.00 | 450.00 |
| PERNO ACERO, ARANDELA Y TUERCA | und | | 4.0000 | 1.42 | 5.68 |
| | | | | | 474.12 |
| Equipo | | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | %mo | | 5.0000 | 71.82 | 3.59 |

| Partida 1.09 | | | Rend: | 6 und/DIA | |
|---|---|---|---|---|---|
| Descripción Insumo | Und. | Cuadrilla | Cantidad | Precio | Parcial |
| | | | | | 3.59 |
| | | | Costo Unitario por und: | | 549.53 |

*Nota.* Elaboración Propia.

**Tabla 48**

*ACU Damper de gravedad diferentes medidas*

| Partida 1.10 | | | Rend: | 12 und/DIA | |
|---|---|---|---|---|---|
| Descripción Insumo | Und. | Cuadrilla | Cantidad | Precio | Parcial |
| Mano de Obra | | | | | |
| OFICIAL | hh | 1.000 | 0.6667 | 21.53 | 14.35 |
| PEON | hh | 1.000 | 0.6667 | 19.48 | 12.99 |
| OPERARIO INSTALADOR DE HVAC | HH | 1.000 | 0.6667 | 29.18 | 19.45 |
| | | | | | 46.79 |
| Materiales | | | | | |
| DAMPER DE GRAVEDAD | und | | 1.0000 | 250.00 | 250.00 |
| FUNDENTE PARA SOLDAR | KG | | 0.0267 | 87.60 | 2.34 |
| THINNER ESTÁNDAR | gal | | 0.0150 | 436.60 | 6.55 |
| | | | | | 258.89 |
| Equipo | | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | %mo | | 3.0000 | 46.79 | 1.40 |
| | | | | | 1.40 |
| | | | Costo Unitario por und: | | 307.08 |

*Nota.* Elaboración Propia.

**Tabla 49**

*ACU Filtro HEPA 99% 30"x30x24"*

| Partida 1.11 | | | Rend: | 6 und/DIA | |
|---|---|---|---|---|---|
| Descripción Insumo | Und. | Cuadrilla | Cantidad | Precio | Parcial |
| Mano de Obra | | | | | |
| PEON | hh | 0.500 | 0.6667 | 19.48 | 12.99 |
| OFICIAL INSTALADOR DE HVAC | HH | 1.000 | 1.3333 | 21.53 | 28.71 |
| OPERARIO INSTALADOR DE HVAC | HH | 1.000 | 1.3333 | 29.18 | 38.91 |
| | | | | | 80.61 |
| Materiales | | | | | |
| FILTRO HEPA 30"x30"x20" 99.99% EFICIENCIA | und | | 1.0000 | 1054.65 | 1054.65 |
| | | | | | 1054.65 |
| Equipo | | | | | |
| ANDAMIO METALICO INCL. TABLA | he | 0.500 | 0.6667 | 5.08 | 3.39 |
| HERRAMIENTAS MANUALES | %mo | | 2.0000 | 80.61 | 1.61 |
| | | | | | 5.00 |
| | | Costo Unitario por und | | | 1140.26 |

*Nota.* Elaboración Propia.

Resumen de ACUs.

**Tabla 50**

*Resumen de costos unitarios en ductos, uniones y accesorios*

| Partida | Descripción | Rendimiento | Unid. | Costo por Unidad | Und. |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.01 | Ductos de plancha galvanizada para hvac | 2000 | kg/DIA | 15.04 | kg |
| 1.02 | Aislamiento térmico para ductos metálicos | 25 | m2/DIA | 88.37 | m2 |

| Partida | Descripción | Rendimiento | Unid. | Costo por Unidad | Und. |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.03 | Soporte metálico para ducto en montante | 20 | PZA/DIA | 51.02 | PZA |
| 1.04 | Soporte metálico para ductos en piso | 59 | PZA/DIA | 16.21 | PZA |
| 1.05 | Soporte metálico para ductos suspendidos en techo | 40 | und/DIA | 16.21 | und |
| 1.06 | Damper cortafuego rectangular de 8"x6" | 6 | und/DIA | 806.29 | und |
| 1.07 | Caja porta filtró 30"x30" | 3 | und/DIA | 610.8 | und |
| 1.08 | Bases y soportes Metálicos para Equipos Roof Top | 4 | und/DIA | 517.23 | und |
| 1.09 | Bases y soportes metálicos para equipos de ventilación mecánica. | 6 | und/DIA | 549.53 | und |
| 1.10 | Damper de gravedad diferentes medidas | 12 | und/DIA | 307.08 | und |
| 1.11 | Filtro HEPA 99% 30”x30x24” | 6 | und/DIA | 1140.26 | und |

*Nota.* Elaboración Propia.

### *3.7.8 Análisis de costos unitarios rejillas y difusores*

**Tabla 51**

*ACU Difusores*

| Partida 2.01 | SUMINISTRO E INSTALACION DE DIFUSORES | | | Rend: | 3,000 pg2/DIA |
|---|---|---|---|---|---|
| Descripción Insumo | Unid | Cuadrilla | Cantidad | Precio | Parcial |
| Mano de Obra | | | | | |
| Peon | hh | 1.000 | 0.0027 | 19.48 | 0.05 |
| Oficial instalador de hvac | HH | 1.000 | 0.0027 | 21.53 | 0.06 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Operario instalador de hvac | HH | 1.000 | 0.0027 | 29.18 | 0.08 |
| | | | | | 0.19 |
| Materiales | | | | | |
| Autoperforante zincado 1/2"x3/4" | und | | 0.2500 | 0.28 | 0.07 |
| Difusor de aire | pg2 | | 1.0000 | 1.82 | 1.82 |
| Autoperforantes zincados 10mmx3/4" | und | | 6.0000 | 0.28 | 1.68 |
| | | | | | 3.57 |
| Equipo | | | | | |
| Andamio metálico | he | 0.250 | 0.0007 | 5.08 | - |
| Herramientas manuales | %mo | | 3.0000 | 0.19 | 0.01 |
| | | | | | 0.01 |
| | | Costo Unitario por pg2: | | | 3.77 |

*Nota.* Elaboración Propia.

**Tabla 52**

*ACU Rejillas de extracción*

| Partida 2.02 | SUMINISTRO E INSTALACION DE REJILLA DE EXTRACCION | | | Rend: | 3,000 pg2/DIA |
|---|---|---|---|---|---|
| Descripción Insumo | Und. | Cuadrilla | Cantidad | Precio | Parcial |
| Mano de Obra | | | | | |
| PEON | hh | 1.000 | 0.0027 | 19.48 | 0.05 |
| OFICIAL INSTALADOR DE HVAC | HH | 1.000 | 0.0027 | 21.53 | 0.06 |
| OPERARIO INSTALADOR DE HVAC | HH | 1.000 | 0.0027 | 29.18 | 0.08 |
| | | | | | 0.19 |
| Materiales | | | | | |
| REJILLA DE EXTRACCION DE AIRE | pg2 | | 1.0000 | 1.82 | 1.82 |
| AUTOPERFORANTES ZINCADOS 10mmX3/4" | und | | 6.0000 | 0.28 | 1.68 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 3.50 |
| Equipo | | | | | |
| ANDAMIO METALICO INCL. TABLA | he | 0.250 | 0.0007 | 5.08 | - |
| HERRAMIENTAS MANUALES | %mo | | 3.0000 | 0.19 | 0.01 |
| | | | | | 0.01 |
| | | Costo Unitario por pg2: | | | 3.70 |

*Nota.* Elaboración Propia.

**Tabla 53**

*Rejillas en puertas*

| Partida 2.03 | SUMINISTRO E INSTALACION DE REJILLAS EN PUERTAS | | | Rend: | 6,000 pg2/DIA |
|---|---|---|---|---|---|
| Descripción Insumo | Und. | Cuadrilla | Cantidad | Precio | Parcial |
| Mano de Obra | | | | | |
| PEON | hh | 1.000 | 0.0013 | 19.48 | 0.03 |
| OFICIAL INSTALADOR DE HVAC | HH | 1.000 | 0.0013 | 21.53 | 0.03 |
| OPERARIO INSTALADOR DE HVAC | HH | 1.000 | 0.0013 | 29.18 | 0.04 |
| | | | | | 0.10 |
| Materiales | | | | | |
| SUMINISTRO DE REJILLA DE PUERTAS | pg2 | | 1.0000 | 1.82 | 1.82 |
| AUTOPERFORANTES ZINCADOS 10mmX3/4" | und | | 6.0000 | 0.28 | 1.68 |
| | | | | | 3.50 |
| Equipo | | | | | |
| ANDAMIO METALICO INCL. TABLA | he | 0.250 | 0.0003 | 5.08 | - |
| HERRAMIENTAS MANUALES | %mo | | 3.0000 | 0.10 | - |
| | | | | | - |
| | | Costo Unitario por pg2: | | | 3.60 |

*Nota.* Elaboración Propia.

Resumen de Análisis de costos unitarios rejillas y difusores.

**Tabla 54**

*Resumen de Costos difusores y rejillas.*

| Partida | Descripción | Rendimiento | Unidad | Costo por Unidad | Und. |
|---|---|---|---|---|---|
| 2.01 | Suministro e instalación de difusores | 3000 | Pg2/DIA | 3.77 | Pg2 |
| 2.02 | Suministro e instalación de rejilla de extracción | 3000 | Pg2/DIA | 3.70 | Pg2 |
| 2.03 | Suministro e instalación de rejillas en puertas | 6000 | Pg2/DIA | 3.60 | Pg2 |

*Nota.* Elaboración Propia.

### *3.7.9 Análisis de costos unitarios equipos HVAC.*

**Tabla 55**

*Suministro de extractor centrifugo*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Partida 3.01 | "SUMINISTRO DE EXTRACTOR CENTRIFUGO SIMPLE ENTRADA (EC-E.01) 1500 CFMM@0.55inWG 0.5HP-380V-3F-60Hz; INCLUYE FILTRO TIPO PLEGABLE 30% EFIC. (MERV 7) + RIGIDO 90% EFIC. (MERV 14) 48Kg" | Rend: | 1 und/DIA |

| Descripción Insumo | Unid. | Cuadrilla | Cantidad | Precio | Parcial |
|---|---|---|---|---|---|
| Materiales | | | | | |
| ACCESORIOS Y ELEMENTOS DE FIJACION DE EXTRACTOR CENTRIFUGO DE SIMPLE ENTRADA | und | | 1.0000 | 674.25 | 674.25 |
| EXTRACTOR CENTRIFUGO DE SIMPLE ENTRADA 1500 CFM 0.55 inWG 0.5 Hp-380V-3F-60Hz | und | | 1.0000 | 2,038.55 | 2,038.55 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Partida 3.01 | "SUMINISTRO DE EXTRACTOR CENTRIFUGO SIMPLE ENTRADA (EC-E.01) 1500 CFMM@0.55inWG 0.5HP-380V-3F-60Hz; INCLUYE FILTRO TIPO PLEGABLE 30% EFIC. (MERV 7) + RIGIDO 90% EFIC. (MERV 14) 48Kg" | Rend: | 1 und/DIA |

| Descripción Insumo | Unid. | Cuadrilla | Cantidad | Precio | Parcial |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 2,712.80 |
| | | Costo Unitario por und: | | | 2,712.80 |

*Nota.* Elaboración Propia.

**Tabla 56**

*Suministro de UMA y Condensador*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Partida 3.02 | SUMINISTRO DE UNIDAD MANEJADOR DE AIRE Y CONDENSADOR - 46200 BTU/H UC= 5.1 KW-220V-1F-60Hz | Rend: | 1 und/DIA |

| Descripción Insumo | Und. | Cuadrilla | Cantidad | Precio | Parcial |
|---|---|---|---|---|---|
| Materiales | | | | | |
| KIT DE AMORTIGUADORES ANTIVIBRACION DE SUELO C/ TORNILLOS, TUERCAS Y ARANDELAS | und | | 1.0000 | 140.47 | 40.47 |
| SUMINISTRO DE UNIDAD EVAPORADORA Y UNIDAD CONDENSADORA (UED-3.01// UC-3.01) 18,000BTU | und | | 1.0000 | 9,221.00 | 9,221.00 |
| | | | | | 9,261.47 |
| | | Costo Unitario por und: | | | 9,261.47 |

*Nota.* Elaboración Propia.

**Tabla 57**

*Equipos de HVAC*

| Partida | Descripción | Rendimiento | Und. | Costo por Unidad | Und. |
|---|---|---|---|---|---|
| 3.01 | Suministro de extractor centrifugo simple entrada (ec-e.01) 1500 cfmm@0.55inwg 0.5hp-380v-3f-60hz; incluye filtro tipo plegable 30% efic. (merv 7) + rígido 90% efic. (merv 14) 48kg" | 1 | und/ DIA | 2712.80 | und |
| 3.02 | Suministro de unidad manejador de aire y condensador - 46200 btu/h U. condensadora= 5.1 kw-220v-1f-60hz | 1 | und/ DIA | 9261.57 | und |

*Nota.* Elaboración Propia.

### *3.7.10 Costos de fabricación e instalación del sistema HVAC.*

**Tabla 58**

*Resumen de Costos Totales*

| Partida | Descripción | Costo por Unidad | Und. | Cantidad | Costo Total |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.01 | Ductos de plancha galvanizada para hvac | 15.04 | kg | 364.5 | 5482.08 |
| 1.02 | Aislamiento térmico para ductos metálicos | 88.37 | m2 | 67.187 | 5937.32 |
| 1.03 | Soporte metálico para ducto en montante | 51.02 | PZA | 19 | 969.38 |
| 1.04 | Soporte metálico para ductos en piso/muro | 16.21 | PZA | 6 | 97.26 |

| Partida | Descripción | Costo por Unidad | Und. | Cantidad | Costo Total |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.05 | Soporte metálico para ductos suspendidos en techo | 16.21 | und | 19 | 307.99 |
| 1.06 | Damper cortafuego rectangular de 8"x6 | 806.29 | und | 4 | 3225.16 |
| 1.07 | Caja porta filtró 30"x30" | 610.8 | und | 2 | 1221.60 |
| 1.08 | Bases y soportes Metálicos para Equipos Roof Top | 517.23 | und | 2 | 1034.46 |
| 1.09 | Bases y soportes metálicos para equipos de ventilación mecánica. | 549.53 | und | 2 | 1099.06 |
| 1.1 | Damper de gravedad diferentes medidas | 307.08 | und | 9 | 2763.72 |
| 1.11 | Filtro HEPA 99% 30”x30x24” | 1140.26 | und | 2 | 2280.52 |
| 2.01 | Suministro e instalación de difusores | 3.77 | pg2 | 400.33 | 1509.24 |
| 2.02 | Suministro e instalación de rejilla de extracción | 3.7 | pg2 | 732.37 | 2709.77 |
| 2.03 | Suministro e instalación de rejillas en puertas | 3.6 | pg2 | 150.37 | 541.33 |
| 3.01 | Suministro de extractor centrifugo simple entrada 1500 cfmm@0.55inwg 0.5hp-380v-3f-60hz; incluye filtro tipo plegable 30% efic. (merv 7) + rígido 90% efic. (merv 14) 48kg" | 2712.8 | und | 1 | 2712.80 |

| Partida | Descripción | Costo por Unidad | Und. | Cantidad | Costo Total |
|---|---|---|---|---|---|
| 3.02 | Suministro de unidad manejador de aire y condensador - 46200 btu/h U. condensadora= 5.1 kw-220v-1f-60hz | 9261.57 | und | 1 | 9261.57 |
| | | | | | 41088.42 |

*Nota.* Elaboración Propia.

## Conclusiones

- Las cargas térmicas y de ventilación para la sala de operaciones multifuncional se determinaron inicialmente mediante un método analítico basado en el enfoque CLTD y en los criterios normativos para hospitales, desagregando aportes por radiación solar, iluminación, ocupación, equipos y aire exterior, lo que permitió obtener un balance sensible y latente detallado. Posteriormente, estas cargas fueron verificadas con el software ELITE HVAC, obteniéndose una diferencia global de solo 0.59 % entre el cálculo manual (49 526.77 BTU/h) y el cálculo por software (49 234.00 BTU/h), error atribuible principalmente a conversiones de unidades y redondeos en propiedades psicrométricas. Esta baja discrepancia valida la consistencia de la metodología empleada y permite extender el cálculo de cargas al resto de ambientes mediante ELITE, asegurando que las renovaciones de aire y las capacidades de los equipos respondan a las exigencias de confort e higiene propias de un hospital tipo III.
- El diseño de la red de ductos en la sala de operaciones multifuncional se realizó en Revit y de forma manual, aplicando criterios de velocidad recomendada y caída de presión por unidad de longitud coherentes con las prácticas sugeridas en ASHRAE para sistemas hospitalarios, y considerando las particularidades de la sala de operaciones como ruta crítica. Las pérdidas de carga en tramos rectos se verificaron mediante una hoja de cálculo en Excel programada con las ecuaciones de ASHRAE para ductos rectangulares, obteniéndose discrepancias inferiores al 0.1 % respecto a Revit, lo que respalda la confiabilidad del dimensionamiento hidráulico. Adicionalmente, las pérdidas en accesorios y uniones fueron contrastadas con la base de datos ASHRAE Duct Fitting Database (códigos SR4-2, CR3-1, SR5-5, etc.), encontrándose errores menores al 1 % frente a los informes de Revit, lo que evidencia

que la red de ductos cumple los criterios de presión total y balance de caudales requeridos en ambientes con presiones positivas y negativas.

- La implementación de BIM permitió integrar en un modelo federado la arquitectura, la estructura y los sistemas MEP (HVAC, arquitectónica, entre otros), gestionando la alta complejidad de un hospital tipo III mediante niveles de desarrollo (LOD100 a LOD400) diferenciados y funciones específicas como clash detection y coordinación de rutas. El modelo BIM hizo posible ubicar ductos de fabricación, equipos AHU (manejadoras de aire) y elementos estructurales en un único entorno, identificando y resolviendo interferencias antes de la etapa de construcción, y asignando parámetros técnicos a cada ambiente (presiones diferenciales, ACH, rangos de temperatura y humedad). De este modo, BIM se consolida como una herramienta fundamental para asegurar un diseño coordinado y trazable, reduciendo el riesgo de problemas en obra y facilitando la futura gestión del mantenimiento.
- El costo del proyecto se materializó en la Tabla 58 donde se desglosaron las partidas de mano de obra, materiales y equipos asociados al sistema HVAC del hospital tipo III de Essalud en Arequipa, tomando como fecha de referencia el 20/11/2025. Se tiene un costo total de 41088.42 nuevos soles.

## Recomendaciones

- Se recomienda mantener el esquema de doble validación de cargas (cálculo analítico vs. software) al menos en un conjunto representativo de ambientes críticos (quirófanos, UCI, salas de aislamiento), de forma que se garantice la consistencia de los resultados de ELITE HVAC frente a la metodología de cálculo descrita en el marco teórico. En etapas futuras, sería conveniente incorporar herramientas de simulación energética dinámica para analizar escenarios de operación, variación horaria de cargas internas y estrategias de ahorro energético sin comprometer las tasas de renovación de aire. Asimismo, se sugiere actualizar periódicamente las condiciones climáticas de diseño y revisar las tablas normativas empleadas, dado que el desempeño del sistema HVAC está fuertemente vinculado a las condiciones exteriores y a los cambios en normativa sanitaria.
- Se recomienda conservar el criterio de verificación cruzada entre el diseño hidráulico de ductos en Revit y las hojas de cálculo basadas en ASHRAE para futuras fases del proyecto o ampliaciones, dado que los errores obtenidos (<0.1 % para ductos rectos y <1 % para accesorios) demuestran que el procedimiento es robusto y permite detectar rápidamente inconsistencias de modelado. Además, se sugiere optimizar el diseño considerando criterios de ruido y vibración (NC, RC) y posibles escenarios de mantenimiento, asegurando espacio suficiente para acceso a filtros, compuertas y equipos. En cuanto a la selección de equipos VRF y manejadoras, se recomienda avanzar hacia análisis de vida útil y eficiencia energética estacional (SEER, HSPF, COP en condiciones de carga parcial), de manera que el futuro proceso de adquisición considere no solo la inversión inicial, sino también los costos de operación durante el ciclo de vida del hospital

- Se recomienda formalizar un Protocolo BIM o BIM Execution Plan (BEP) específico para hospitales, que defina niveles de detalle, estructura de parámetros (por ejemplo, presión, ACH, tipo de filtro, clasificación del ambiente), estándares de nomenclatura y flujos de trabajo de coordinación entre disciplinas. Esto facilitará que el modelo pueda ser reutilizado y comprendido por otros equipos de diseño y operación en futuros proyectos. Igualmente, se sugiere capacitar a los equipos de ingeniería de EsSalud en el uso avanzado de herramientas BIM (clash detection, 4D/5D, simulación térmica integrada), de manera que la coordinación no se limite al diseño geométrico, sino que incorpore análisis de constructibilidad, planificación de obra y evaluación de escenarios de mantenimiento para el sistema HVAC.
- Se recomienda ampliar el análisis de costos hacia una evaluación de costo del ciclo de vida (LCC), incorporando el consumo energético estimado de los equipos, los costos de mantenimiento preventivo y correctivo, y la eventual reposición de componentes críticos, especialmente en sistemas VRF, manejadoras y filtros HEPA. El detalle de mano de obra y materiales alcanzado en la Tabla 29 constituye una base sólida para integrar el presupuesto HVAC dentro de un enfoque BIM 5D, donde las cantidades provienen directamente del modelo y las partidas se actualizan automáticamente frente a cambios de diseño. Asimismo, se sugiere actualizar periódicamente los precios unitarios y centralizar las bases de costos en una biblioteca institucional, de modo que futuros proyectos hospitalarios puedan beneficiarse de la experiencia adquirida en este caso de estudio y mejorar la precisión de sus estimaciones presupuestales.

## Referencias Bibliográficas


American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2021). ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2021: Ventilation of Health Care Facilities. ASHRAE.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2019). ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2019: Ventilation for Acceptable Indoor Air Q–uality. ASHRAE.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2020). ANSI/ASHRAE Standard 55-2020: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. ASHRAE.

Colebrook, C. F. (1939). Turbulent flow in pipes, with particular reference to the transition region between the smooth and rough pipe laws. Journal of the Institution of Civil Engineers, 11(4), 133–156. (Resumen y fórmulas accesibles en Moody chart y Darcy friction factor formulae). Wikipedia+1

Engineering Toolbox. (s. f.). Hydraulic diameter – non-circular ducts; Air properties; Moody diagram. Recuperado en 2025. engineeringtoolbox.com+2engineeringtoolbox.com+2

Facility Guidelines Institute. (2022). Guidelines for Design and Construction of Hospitals. FGI.

Ministerio de Economía y Finanzas. (2021). Estrategia nacional BIM Perú. https://www.gob.pe/institucion/mef/informes-publicaciones/2352164-estrategia-nacional-bim

Ministerio de Energía y Minas. (2006, 30 de enero). Resolución Ministerial N.° 0037-2006-MEM: Código Nacional de Electricidad – Utilización. https://www.minem.gob.pe/_detalle.php?idSector=6&idTitular=6562

Ministerio de Energía y Minas. (2017). Código Nacional de Electricidad – Utilización [Compendio actualizado 2017]. https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/electricidad/CodigoNacionalElectricidadUtilizacion2017.pdf

Huebscher, H. (1948). Equivalent diameter for rectangular ducts. Datos experimentales compilados en ASHRAE Handbook – Fundamentals, duct design chapter.

Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI. (2017). Código Nacional de Electricidad – Utilización.

Ministerio de Economía y Finanzas del Perú. (2021). Estrategia Nacional BIM para Proyectos Públicos.

Ministerio de Salud del Perú (MINSA). (2016). Norma Técnica de Salud para la Infraestructura y Equipamiento de los Establecimientos de Salud del Ministerio de Salud. Dirección General de Infraestructura.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú. (2020). Reglamento Nacional de Edificaciones.

National Fire Protection Association. (2021). NFPA 90A: Standard for the Installation of Air-Conditioning and Ventilating Systems. NFPA.

National Fire Protection Association. (2021). NFPA 99: Health Care Facilities Code. NFPA.

National Fire Protection Association. (2023). NFPA 70: National Electrical Code (NEC). NFPA.

Omni Calculator. (s. f.). Kinematic viscosity of air calculator. Recuperado en 2025. Omni Calculator

Saldana, M. (2024). The Reynolds number: A journey from its origin to modern applications. Fluids, 9(12), 299. MDPI

**Anexos.**

**TECHNICAL SPECIFICATION RECIRCULATING AHU / VRV CONDENSING UNIT**

| COMBINATION MODEL | | | | RAHU-VR1500 | RAHU-VR1750 | RAHU-VR2000 | RAHU-VR2250 | RAHU-VR2500 | RAHU-VR2750 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AHU | Model Name | | | 740x900 | 740x1000 | 750x1100 | 860x1020 | 870x1100 | 870x1180 |
| | Air Flow | | CFM | 1,500 | 1,750 | 2,000 | 2,250 | 2,500 | 2,750 |
| | ESP | | Pa | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 |
| | Motor Power | | KW | 1.0 | 1.23 | 1.23 | 1.23 | 1.8 | 2.95 |
| | Dimension | Width | mm | 900 | 1000 | 1100 | 1020 | 1100 | 1180 |
| | | Height | mm | 840 | 840 | 850 | 960 | 970 | 970 |
| | | Length | mm | 1780 | 1900 | 1900 | 1900 | 1860 | 1860 |
| | Prefilter | | | G4 | G4 | G4 | G4 | G4 | G4 |
| | Total Cooling Capacity (1) | | KW | 11.3 | 13.1 | 15.1 | 17.3 | 19 | 20.8 |
| | Sensible Cooling Capacity | | KW | 8.9 | 10.3 | 11.8 | 13.3 | 14.8 | 16.3 |
| | Fan Type | | | EC FAN | EC FAN | EC FAN | EC FAN | EC FAN | EC FAN |
| Condensing Unit | Type | | | VRV Series | VRV Series | VRV Series | VRV Series | VRV Series | VRV Series |
| | Manufacturer | | | Daikin | Daikin | Daikin | Daikin | Daikin | Daikin |
| | Model | | | RXQ6 | RXQ6 | RXYTQ8 | RXYTQ8 | RXYTQ8 | RXYTQ8 |
| | Qty | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | Refrigerant | | | R410A | R410A | R410A | R410A | R410A | R410A |
| | Power Supply | | | 380-415V/60HZ | 380-415V/60HZ | 380-415V/60HZ | 380-415V/60HZ | 380-415V/60HZ | 380-415V/60HZ |
| | Cooling Capacity (1) | | KW | 11.59 | 12.70 | 18.25 | 18.25 | 18.25 | 19.93 |
| | Rated Power Input (2) | | KW | 5.10 | 5.10 | 6.75 | 6.75 | 6.75 | 6.75 |
| | Minimum Circuit Amps (MCA) (3) | | A | 16.1 | 16.1 | 16.1 | 16.1 | 16.1 | 16.1 |
| | Maximum Fuse Amps (MFA) (4) | | A | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| | Sound Pressure Level | | dBA | 56 | 56 | 57 | 57 | 57 | 57 |
| | Compressor | | Type | Hermetically Sealed Scroll Compressor (Inverter) | Hermetically Sealed Scroll Compressor (Inverter) | Hermetically Sealed Scroll Compressor (Inverter) | Hermetically Sealed Scroll Compressor (Inverter) | Hermetically Sealed Scroll Compressor (Inverter) | Hermetically Sealed Scroll Compressor (Inverter) |
| | | | Qty | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | Fan | | Type | Propeller Fan | Propeller Fan | Propeller Fan | Propeller Fan | Propeller Fan | Propeller Fan |
| | | | Qty | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | Fan Discharge Direction | | | Vertical | Vertical | Vertical | Vertical | Vertical | Vertical |
| | Condenser Coil | Type | | Cross Fin Coil | Cross Fin Coil | Cross Fin Coil | Cross Fin Coil | Cross Fin Coil | Cross Fin Coil |
| | | Fin Treatment | | Blue Fin Coating | Blue Fin Coating | Blue Fin Coating | Blue Fin Coating | Blue Fin Coating | Blue Fin Coating |
| | Dimension | Height | mm | 1,657 | 1,657 | 1,685 | 1,685 | 1,685 | 1,685 |
| | | Width | mm | 930 | 930 | 930 | 930 | 930 | 930 |
| | | Depth | mm | 765 | 765 | 765 | 765 | 765 | 765 |
| | Weight | | kg | 165 | 165 | 198 | 198 | 198 | 198 |
| | Field Refrigerant Pipe Size | Liquid OD | mm | 9.52 | 9.52 | 9.52 | 9.52 | 9.52 | 9.52 |
| | | Gas OD | mm | 19.1 | 19.1 | 19.1 | 19.1 | 19.1 | 19.1 |

**Notes**

1. Cooling Capacity at AHU On Coil 24/17 °C (DB/WB), Off Coil 14°C (DB) and 46 °C ambient, equivalent piping length: 7.5 m (horizontal)
2. Condensing unit Rated Power Input is based on outdoor temp. 46 CDB (as per ISO 15042)
3. MCA must be used to select the correct field wiring size. The MCA can be regarded as the maximum running current
4. MFA is used to select the circuit breaker and the ground fault circuit interruptor (earth leakage circuit breaker)
5. Accesories including Expansion Valve and Control box are Factory fitted and Thermostat or Remote control loose supplied
6. Maximum Piping Horizontal - 50 meters (55 meters equivalent)
7. Maximum Piping Vertical - 40 meters

| RAHU-VR3000 | RAHU-VR3250 | RAHU-VR3500 | RAHU-VR3750 | RAHU-VR4000 | RAHU-VR4250 | RAHU-VR4500 | RAHU-VR4750 | RAHU-VR5000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 930x1170 | 930x1240 | 990x1230 | 990x1290 | 1050x1280 | 1050x1430 | 1050x1440 | 1050x1460 | 1170x1360 |
| 3,000 | 3,250 | 3,500 | 3,750 | 4,000 | 4,250 | 4,500 | 4,750 | 5,000 |
| 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 |
| 2.95 | 2.95 | 2.68 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 3.35 | 3.35 | 3.35 |
| 1170 | 1240 | 1230 | 1290 | 1280 | 1430 | 1440 | 1460 | 1360 |
| 1030 | 1030 | 1090 | 1090 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1270 |
| 1860 | 1860 | 1930 | 2000 | 2000 | 2000 | 1990 | 1990 | 1990 |
| G4 | G4 | G4 | G4 | G4 | G4 | G4 | G4 | G4 |
| 22.8 | 24.6 | 26.5 | 28.2 | 30.2 | 32.7 | 34.4 | 36.1 | 37.6 |
| 17.7 | 19.2 | 20.7 | 22.2 | 23.7 | 25.1 | 26.6 | 28.1 | 29.6 |
| EC FAN | EC FAN | EC FAN | EC FAN | EC FAN | EC FAN | EC FAN | EC FAN | EC FAN |
| VRV Series | VRV Series | VRV Series | VRV Series | VRV Series | VRV Series | VRV Series | VRV Series | VRV Series |
| Daikin | Daikin | Daikin | Daikin | Daikin | Daikin | Daikin | Daikin | Daikin |
| RXYTQ10 | RXYTQ10 | RXYTQ12 | RXYTQ14 | RXYTQ14 | RXYTQ14 | RXYTQ14 | RXYTQ16 | RXYTQ16 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| R410A | R410A | R410A | R410A | R410A | R410A | R410A | R410A | R410A |
| 380-415V/60HZ | 380-415V/60HZ | 380-415V/60HZ | 380-415V/60HZ | 380-415V/60HZ | 380-415V/60HZ | 380-415V/60HZ | 380-415V/60HZ | 380-415V/60HZ |
| 23.85 | 23.85 | 27.58 | 34.37 | 34.37 | 34.37 | 34.37 | 34.27 | 37.69 |
| 8.51 | 8.51 | 9.80 | 11.33 | 11.33 | 11.33 | 11.33 | 12.79 | 12.79 |
| 22.0 | 22.0 | 24.0 | 27.0 | 27.0 | 27.0 | 27.0 | 31.0 | 31.0 |
| 25.0 | 25.0 | 32.0 | 32.0 | 32.0 | 32.0 | 32.0 | 40.0 | 40.0 |
| 59 | 59 | 61 | 61 | 61 | 61 | 61 | 64 | 64 |
| Hermetically Sealed Scroll Compressor (Inverter) | Hermetically Sealed Scroll Compressor (Inverter) | Hermetically Sealed Scroll Compressor (Inverter) | Hermetically Sealed Scroll Compressor (Inverter) | Hermetically Sealed Scroll Compressor (Inverter) | Hermetically Sealed Scroll Compressor (Inverter) | Hermetically Sealed Scroll Compressor (Inverter) | Hermetically Sealed Scroll Compressor (Inverter) | Hermetically Sealed Scroll Compressor (Inverter) |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Propeller Fan | Propeller Fan | Propeller Fan | Propeller Fan | Propeller Fan | Propeller Fan | Propeller Fan | Propeller Fan | Propeller Fan |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Vertical | Vertical | Vertical | Vertical | Vertical | Vertical | Vertical | Vertical | Vertical |
| Cross Fin Coil | Cross Fin Coil | Cross Fin Coil | Cross Fin Coil | Cross Fin Coil | Cross Fin Coil | Cross Fin Coil | Cross Fin Coil | Cross Fin Coil |
| Blue Fin Coating | Blue Fin Coating | Blue Fin Coating | Blue Fin Coating | Blue Fin Coating | Blue Fin Coating | Blue Fin Coating | Blue Fin Coating | Blue Fin Coating |
| 1,685 | 1,685 | 1,685 | 1,685 | 1,685 | 1,685 | 1,685 | 1,685 | 1,685 |
| 1,240 | 1,240 | 1,240 | 1,240 | 1,240 | 1,240 | 1,240 | 1,240 | 1,240 |
| 765 | 765 | 765 | 765 | 765 | 765 | 765 | 765 | 765 |
| 234 | 234 | 234 | 283 | 283 | 283 | 283 | 283 | 283 |
| 9.52 | 9.52 | 12.7 | 12.7 | 12.7 | 12.7 | 12.7 | 12.7 | 12.7 |
| 22.2 | 22.2 | 28.6 | 28.6 | 28.6 | 28.6 | 28.6 | 28.6 | 28.6 |

# Technical Recommendations

Table 1: Recommended Field Refrigerant Pipe Sizes for DX Condensing Units

| Model | REFRIGERANT LINE LENGTH (METERS) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0-7.5 | | 7. 6-15.1 | | 15.2-22.6 | |
| | Line Diameter OD (mm) | | | | | |
| | Suct | Liq | Suct | Liq | Suct | Liq |
| GSX130362XK | 19.1 | 9.52 | 22.2 | 9 .52 | 22.2 | 12 .7 |
| GSX130485XK | 22.2 | 9.52 | 28.6 | 9 .52 | 28.6 | 12 .7 |
| GSX130605XK | 22.2 | 9.52 | 28.6 | 9 .52 | 28.6 | 12 .7 |

Table 2: Refrigerant Connection Size for DX Condensing Units

| Model | GSX130362XK | GSX130485XK | GSX130605XK |
|---|---|---|---|
| Liquid Valve Size OD, mm | 9.52 | 9.52 | 9.52 |
| Suction Valve Size OD, mm | 19.1 | 22.2 | 22.2 |

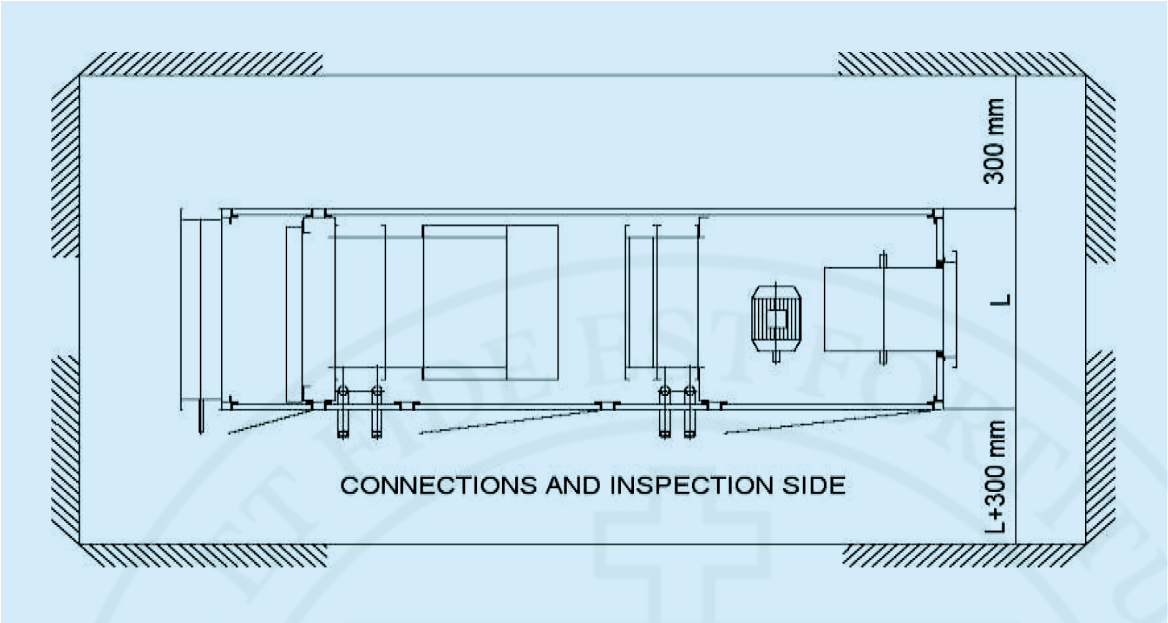
Table 3: Minimal Pipe Thickness for R410A Refrigerant

| Pipe Ø (mm) | Minimal thickness t (mm) |
|---|---|
| 6.4/9.5/12.7 | 0.80 |
| 15.9 | 0.99 |
| 19.1/22.2 | 0.80 |
| 28.6 | 0.99 |
| 34.9 | 1.21 |
| 41.3 | 1.43 |

| Pipe Ø (mm) | Temper grade of piping material |
|---|---|
| ≤ 15.9 | 0 (annealed) |
| ≥ 19.1 | 1/2H (half hard) |

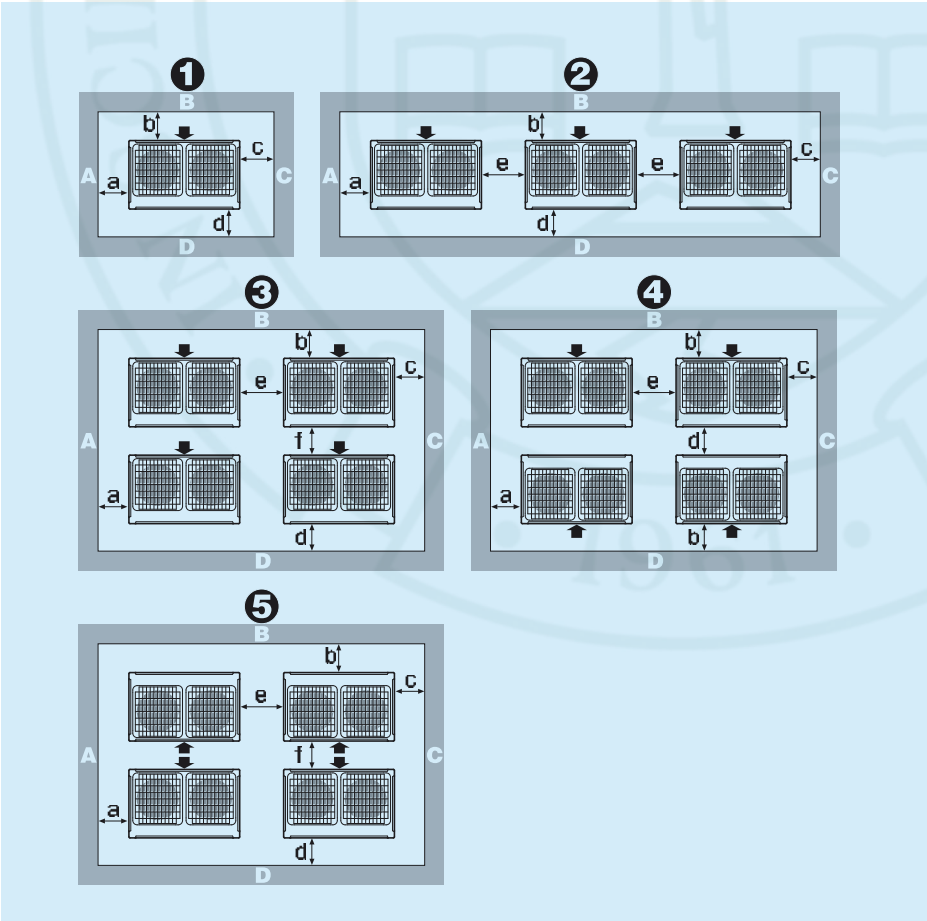
## INSTALLATION RECOMMENDATIONS FOR AHU

The area chosen for installation must allow for enough space around the unit for comfortably and safely carrying out installation and successive maintenance operations, including the replacement of any internal component (e.g. removal of the heat exchange coils, the filters, …) see figure.



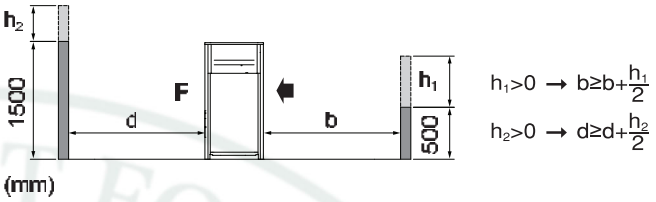

## INSTALLATION RECOMMENDATIONS FOR VRV CONDENSING UNITS

Make sure the space around the unit is adequate for servicing and the minimum space for air inlet and air outlet is available (refer to the figure below and choose one of the possibilities).



| Layout | A+B+C+D | | A+B |
|---|---|---|---|
| | Possibility 1 | Possibility 2 | |
| 1 | a≥10 mm<br>b≥300 mm<br>c≥10 mm<br>d≥500 mm | a≥50 mm<br>b≥100 mm<br>c≥50 mm<br>d≥500 mm | a≥200 mm<br>b≥300 mm |
| 2 | a≥10 mm<br>b≥300 mm<br>c≥10 mm<br>d≥500 mm<br>e≥20 mm | a≥50 mm<br>b≥100 mm<br>c≥50 mm<br>d≥500 mm<br>e≥100 mm | a≥200 mm<br>b≥300 mm<br>e≥400 mm |
| 3 | a≥10 mm<br>b≥300 mm<br>c≥10 mm<br>d≥500 mm<br>e≥20 mm<br>f≥600 mm | a≥50 mm<br>b≥100 mm<br>c≥50 mm<br>d≥500 mm<br>e≥100 mm<br>f≥500 mm | — |
| 4 | a≥10 mm<br>b≥300 mm<br>c≥10 mm<br>d≥500 mm<br>e≥20 mm | a≥50 mm<br>b≥100 mm<br>c≥50 mm<br>d≥500 mm<br>e≥100 mm | |

| Layout | A+B+C+D | | A+B |
|---|---|---|---|
| | Possibility 1 | Possibility 2 | |
| 5 | a≥10 mm<br>b≥500 mm<br>c≥10 mm<br>d≥500 mm<br>e≥20 mm<br>f≥900 mm | a≥50 mm<br>b≥500 mm<br>c≥50 mm<br>d≥500 mm<br>e≥100 mm<br>f≥600 mm | — |



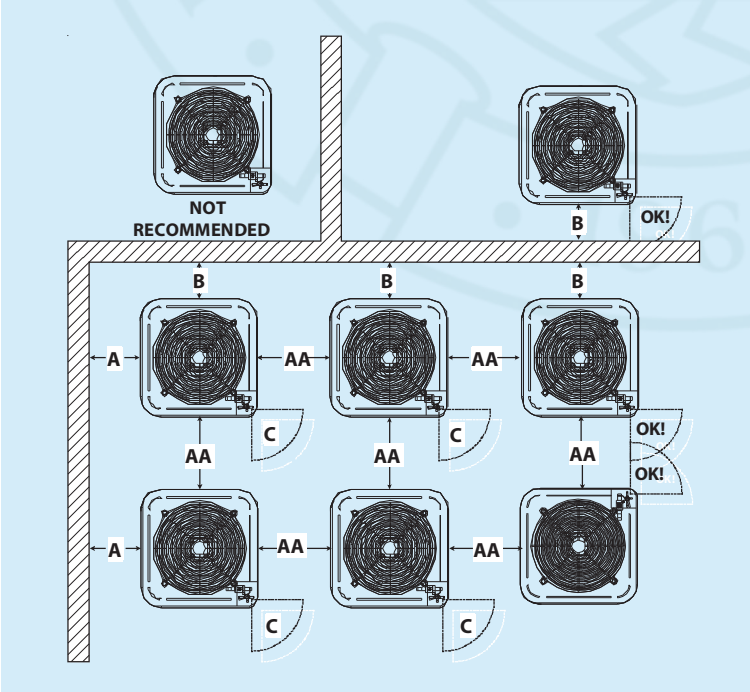

**ABCD** Sides along the installation site with obstacles
**F** Front side
Suction side

› In case of an installation site where sides A+B+C+D have obstacles, the wall heights of sides A+C have no impact on service space dimensions. Refer to the figure above for impact of wall heights of sides B+D on service space dimensions.
› In case of installation site where only the sides A+B have obstacles, the wall heights have no influence on any indicated service space dimensions

## INSTALLATION RECOMMENDATIONS FOR DX CONDENSING UNITS

Special consideration must be given to location of the condensing unit(s) in regard to structures, obstructions, other units, and any/all other factors that may interfere with air circulation. Where possible, the top of the unit should be completely unobstructed; however, if vertical conditions require placement beneath an obstruction there should be a minimum of 1.5 meters between the top of the unit and the obstruction(s). The specified dimensions meet requirements for air circulation only. Consult all appropriate regulatory codes prior to determining final clearances.

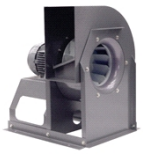
Another important consideration in selecting a location for the unit(s) is the angle to obstructions. Either side adjacent the valves be placed toward the structure provided the side away from the structure maintains minimum service clearance. Corner installations are strongly discouraged.




| Minimum Airflow Clearance, mm | | | |
|---|---|---|---|
| A | B | C | AA |
| 300 | 300 | 450 | 600 |

# CMX

SP432107SCO592V0-CMX-315/4P-0.5HP-208-230/460V-60HZ-(208-230~3)



**SP432107SCO592V0 - CMX-315/4P-0.5HP-208-230/460V-60HZ**

## Theoretical Working Point

| | |
|---|---|
| Airflow | 1.500 Ncfm (ISO - 15°C) |
| Static Pressure | 132 Pa |
| Temperature | 20 °C |
| Altitude | 0 m |
| Density | 1,2 kg/m³ |
| Frequency | 60 Hz |

## Working Point

| | |
|---|---|
| Airflow | 1.662 cfm |
| Static Pressure | 158 Pa |
| Dynamic pressure | 45,8 Pa |
| Total Pressure | 204 Pa |
| Input power | 0,304 hp |
| Outlet speed | 8,7 m/s |
| Fan speed | 1750 rpm |
| Specific Fan Power | 0,29 W/l/s |
| Fan Energy Index (AMCA) - Static | 2,44 |
| Fan Energy Index (AMCA) - Total | 2,59 |

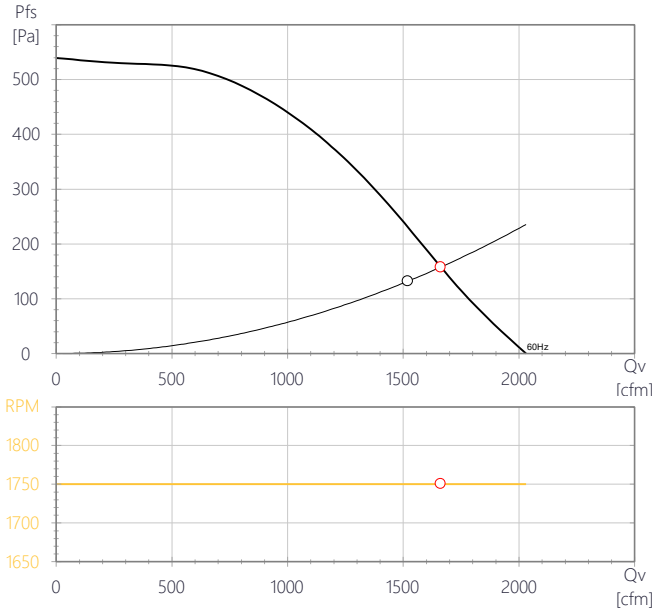
## Construction

| | |
|---|---|
| Discharge diameter | 13,3 in |
| Fan size | 315 |
| Weight | 174,17 lb |

## Motor Characteristics

| | |
|---|---|
| Number of poles | 4 |
| Motor Power | 0,5 hp |
| Voltage | 3-208-230/460V-60Hz |
| Maximum absorbed current | 0,8 A / 0,7 A |

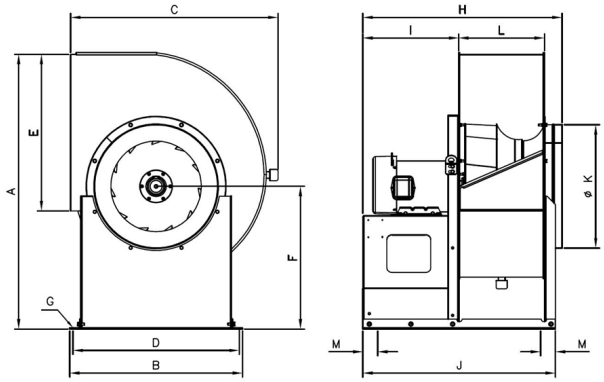
## Performance Chart




## Sound Performance

| | 63 | 125 | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k | 8k | Overall |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Inlet (LwA) | 51 | 62 | 70 | 74 | 72 | 70 | 66 | 59 | 78 |
| Inlet LpA @ 1,5m | 36 | 47 | 55 | 59 | 57 | 55 | 51 | 44 | 63 |

## Drawing (in)




| A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | Ø K |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 29,2 | 21,6 | 23 | 19,6 | 15,7 | 15,9 | 5,28 | 22 | 12,6 | 20,9 | 12,4 |

| L | M |
|---|---|
| 8,78 | 1,97 |

Anexo 3: Cálculos térmicos en software Elite CHVAC.

*Sala de Operaciones*
*HVAC Load Analysis*

for

Elite Software

CHVAC COMMERCIAL HVAC LOADS

Prepared By:

viernes, agosto 01, 2025

# *Building Envelope Report*

## Envelope Report Using Summer U-Factors

| Material Types | | Gross Area | Glass Area | Net Area | -U-Factor | Area x U-Factor | Average U-Factor |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Wall | 1 | 708.5 | 0.0 | 708.5 | 0.350 | 247.968 | 0.350 |
| Tot.Wall | | 708.5 | 0.0 | 708.5 | N/A | 247.968 | 0.350 |
| Totals | | | | 708.5 | | 247.968 | 0.350 |

| Wall Direction | Wall Area | Glass Area | Wall Net Area | Wall Avg U-Factor | Glass Avg U-Factor | Glass Avg Shd.Coef |
|---|---|---|---|---|---|---|
| N | 708.5 | 0.0 | 708.5 | 0.350 | 0.000 | 0.000 |
| NE | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| E | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| SE | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| S | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| SW | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| W | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| NW | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Totals | 708.5 | 0.0 | 708.5 | 0.350 | 0.000 | 0.000 |

## *Air Handler #1 - UMA1 - Summary Loads*

| Zn No | Description<br>Zone Peak Time | Area<br>People<br>Volume | Htg.Loss<br>Htg.CFM<br>CFM/Sqft | Sen.Gain<br>Clg.CFM<br>CFM/Sqft | Lat.Gain<br>S.Exh<br>W.Exh | Htg.O.A.<br>Req.CFM<br>Act.CFM | Clg.O.A.<br>Req.CFM<br>Act.CFM |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Sala De Operaciones 1<br>7am August | 354<br>8<br>3,138 | 0<br>0<br>0.00 | 23,105<br>1,797<br>5.07 | 1,355<br>0<br>0 | None<br>0<br>0 | None<br>0<br>1,797 |
| | Zone Peak Totals:<br>Total Zones: 1<br>Unique Zones: 1 | 354<br>8<br>3,138 | 0<br>0<br>0.00 | 23,105<br>1,797<br>5.07 | 1,355<br>0<br>0 | <br>0<br>0 | <br>0<br>1,797 |

# Air Handler #1 - UMA1 - Total Load Summary

Air Handler Description: UMA1 Constant Volume - Sum of Peaks
Sensible Heat Ratio: 0.94 --- This system occurs 1 time(s) in the building. ---

Air System Peak Time: 7am in August.
Outdoor Conditions: Clg: 81° DB, 62° WB, 81.24 grains
Indoor Conditions: Clg: 68° DB, 55% RH

Summer: Ventilation controls outside air, ----- Winter: Ventilation controls outside air.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Zone Space sensible loss: | 0 Btuh | | | |
| Infiltration sensible loss: | 0 Btuh | 0 CFM | | |
| Outside Air sensible loss: | 0 Btuh | 0 CFM | | |
| Supply Duct sensible loss: | 0 Btuh | | | |
| Return Duct sensible loss: | 0 Btuh | | | |
| Return Plenum sensible loss: | 0 Btuh | | | |
| Total System sensible loss: | | | 0 | Btuh |
| Heating Supply Air: 0 / (.735 X 1.08 X 0) = | | 0 CFM | | |
| Winter Vent Outside Air (0.0% of supply) = | | 0 CFM | | |
| Zone space sensible gain: | 23,105 Btuh | | | |
| Infiltration sensible gain: | 0 Btuh | | | |
| Draw-thru fan sensible gain: | 0 Btuh | | | |
| Supply duct sensible gain: | 0 Btuh | | | |
| Reheat sensible gain: | 0 Btuh | | | |
| Total sensible gain on supply side of coil: | | | 23,105 | Btuh |
| Cooling Supply Air: 23,105 / (.735 X 1.1 X 16) = | | 1,797 CFM | | |
| Summer Vent Outside Air (100.0% of supply) = | | 1,797 CFM | | |
| Return duct sensible gain: | 0 Btuh | | | |
| Return plenum sensible gain: | 0 Btuh | | | |
| Outside air sensible gain: | 18,898 Btuh | 1,797 CFM | | |
| Blow-thru fan sensible gain: | 0 Btuh | | | |
| Total sensible gain on return side of coil: | | | 18,898 | Btuh |
| Total sensible gain on air handling system: | | | 42,003 | Btuh |
| Zone space latent gain: | 1,355 Btuh | | | |
| Infiltration latent gain: | 0 Btuh | | | |
| Outside air latent gain: | 5,876 Btuh | | | |
| Total latent gain on air handling system: | | | 7,231 | Btuh |
| Total system sensible and latent gain: | | | 49,235 | Btuh |

## Check Figures

| | | |
|---|---|---|
| Total Air Handler Supply Air (based on a 16° TD): | 1,797 | CFM |
| Total Air Handler Vent. Air (100.00% of Supply): | 1,797 | CFM |
| Total Conditioned Air Space: | 354 | Sq.ft |
| Supply Air Per Unit Area: | 5.0738 | CFM/Sq.ft |
| Area Per Cooling Capacity: | 86.3 | Sq.ft/Ton |
| Cooling Capacity Per Area: | 0.0116 | Tons/Sq.ft |
| Heating Capacity Per Area: | 0.00 | Btuh/Sq.ft |
| Total Heating Required With Outside Air: | 0 | Btuh |
| Total Cooling Required With Outside Air: | 4.10 | Tons |

## *Group Detailed Loads (At Group Peak Times)*

| Load Description | Unit Quan | -SC- CFAC | CLTD SHGF | U.Fac -CLF- | Sen. Gain | Lat. Gain | Htg. Mult. | Htg. Loss |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Zone 1-Sala De Operaciones 1 - Air Handler 1 (UMA1), Group 0 peaks (sensible) in August at 7am.** | | | | | | | | |
| Wall-1-N-A-D | 354 | 1 | 29.7 | 0.350 | 3,682 | | 11.200 | 3,967 |
| Lights-Prof=1 | 2,000 | 1.000 | | | 6,824 | | | |
| Equipment-Prof=1 | 2,500 | 1.000 | | | 8,530 | 0 | | |
| People-Prof=1 | 8.0 | 1.000 | | | 1,968 | 1,232 | | |
| Sub-total | | | | | 21,005 | 1,232 | | 0 |
| Safety factors: | | | | | +10% | +10% | | +10% |
| Total w/ safety factors: | | | | | 23,105 | 1,355 | | 0 |

## *Zone Detailed Loads (At Zone Peak Times)*

| Load Description | Unit Quan | -SC- CFAC | CLTD SHGF | U.Fac -CLF- | Sen. Gain | Lat. Gain | Htg. Mult. | Htg. Loss |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Zone 1-Sala De Operaciones 1 peaks (sensible) in August at 7am, Air Handler 1 (UMA1), Group 0, 36.0 x 9.8, Construction Type: 1 (Light)** | | | | | | | | |
| Wall-1-N-A-D | 354 | 1 | 29.7 | 0.350 | 3,682 | | 11.200 | 3,967 |
| Lights-Prof=1 | 2,000 | 1.000 | | | 6,824 | | | |
| Equipment-Prof=1 | 2,500 | 1.000 | | | 8,530 | 0 | | |
| People-Prof=1 | 8.0 | 1.000 | | | 1,968 | 1,232 | | |
| Sub-total | | | | | 21,005 | 1,232 | | 0 |
| Safety factors: | | | | | +10% | +10% | | +10% |
| Total w/ safety factors: | | | | | 23,105 | 1,355 | | 0 |

# *Air System #1 (UMA1) Psychrometric Analysis*

| System Load Analysis | Latent | Grains | Sensible | Temp | CFM |
|---|---|---|---|---|---|
| Leaving Coil Condition | | 74.967 | | 52.105 | |
| Draw-Thru Fan | | | 0 | 0.000 | 0 |
| Misc Load on Supply Side | | | 0 | 0.000 | 0 |
| Supply Air Duct | | | 0 | 0.000 | 0 |
| Zone Loads | 1,355 | 1.508 | 23,105 | 15.895 | 1,797 |
| Reheat | | | 0 | 0.000 | 0 |
| Zone Condition | 1,355 | 76.475 | 23,105 | 68.000 | 1,797 |
| Return Air Duct | | | 0 | 0.000 | |
| Return Air Plenum | | | 0 | 0.000 | |
| Misc Load on Return Side | | | 0 | 0.000 | |
| Vent Air 1,797 CFM | 5,876 | 6.546 | 18,898 | 13.000 | |
| Blow-Thru Fan | | | 0 | 0.000 | |
| Entering Coil Condition | 7,231 | 83.021 | 42,003 | 81.000 | 1,797 |

## General Psychrometric Equations Used In Analysis:

PR = (Barometric pressure of site / Standard ASHRAE pressure of 29.921)
TSH = PR x 1.10 x CFM x (DB entering - DB leaving)
TLH = PR x 0.68 x CFM x (Grains entering - Grains leaving)
GTH = PR x 4.50 x CFM x (Enthalpy entering - Enthalpy leaving)

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TSH | = | 0.735 | x | 1.10 | x | 1,797 | x ( | 81.000 | - | 52.105 | ) = | 42,003 | Btuh |
| TLH | = | 0.735 | x | 0.68 | x | 1,797 | x ( | 83.021 | - | 74.967 | ) = | 7,238 | Btuh |
| SUM | = | | | | | | | | | | | 49,241 | Btuh |
| GTH | = | 0.735 | x | 4.50 | x | 1,797 | x ( | 32.453 | - | 24.118 | ) = | 49,564 | Btuh |
| Total System Load | | | | | | | | | | | = | 49,235 | Btuh |

## Chilled and Hot Water Flow Rates and Steam Requirement

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cooling GPM | = | 49,564 | / ( | 0.00 | x | 500 | ) | = | 0.0 GPM |
| Heating GPM | = | 0 | / ( | 0.00 | x | 500 | ) | = | 0.0 GPM |
| Steam Req. | = | 0 | / | 970 | | | | = | 0.0 lb./hr |

## Entering Cooling Coil Conditions

| | | |
|---|---|---|
| Dry bulb temperature: | 81.00 | |
| Wet bulb temperature: | 62.00 | |
| Relative humidity: | 38.58 | |
| Enthalpy: | 32.45 | Btu/lbm |

## Entering Heating Coil Conditions

| | |
|---|---|
| Dry bulb temperature: | 75.00 |

## Leaving Cooling Coil Conditions

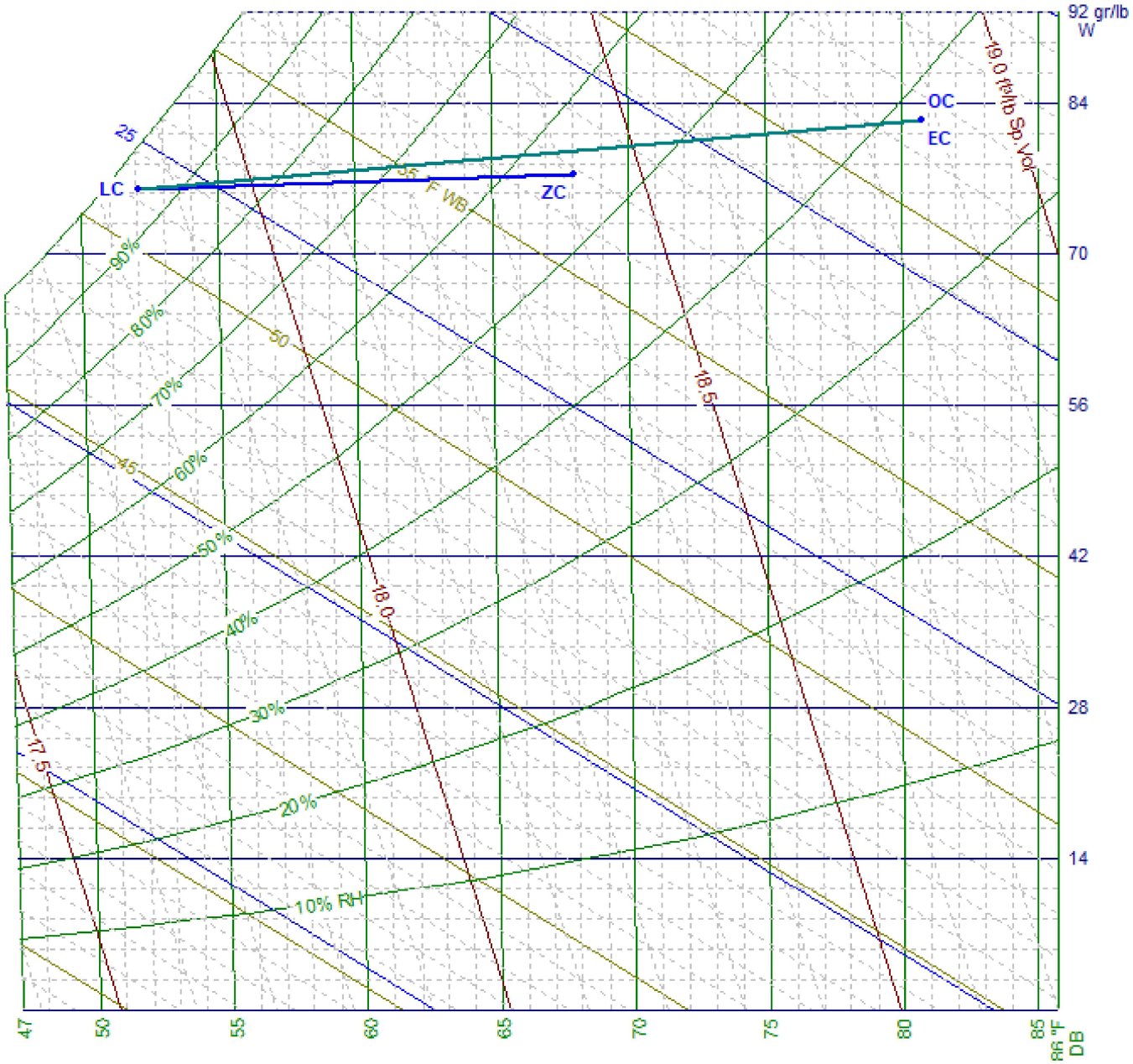
| | | |
|---|---|---|
| Dry bulb temperature: | 52.11 | |
| Wet bulb temperature: | 51.22 | |
| Relative humidity: | 95.00 | |
| Enthalpy: | 24.12 | Btu/lbm |

## Leaving Heating Coil Conditions

| | |
|---|---|
| Dry bulb temperature: | 75.00 |

# *Air System #1 (UMA1) Psychrometric Chart*

| | | | |
|---|---|---|---|
| ZC | Zone Condition | OC | Outdoor Condition |
| LC | Leaving Coil Condition | EC | Entering Coil Condition |
| SD | Supply Duct Temperature Rise | RD | Return Duct Temperature Rise |
| DTF | Draw Through Fan Sensible Gain | BTF | Blow Through Fan Sensible Gain |
| RE | Reserve or Reheat Sensible Gain | PL | Return Air Plenum Sensible Gain |
| SM | Supply Side Miscellaneous Sensible Gain | MR | Return Side Miscellaneous Gain |
| PRE | Pretreated Air Condition | HRV | Heat Recovery Ventilator Condition |
| MIX | Mixed Air Condition | RML | Return Miscellaneous Latent Gain |



RENSA FILTRATION



# Revolution Pocket Filter MERV 16/16A

## Extended Surface High Efficiency Air Filter

Medical, industrial, and commercial grade super high efficiency MERV 16/16A synthetic pocket filters provide maximum protection against airborne microbes and bacteria in HVAC systems. Unique proprietary synthetic depth-loading media utilizing pre-formed pocket waves in the manufacturing process to increase the effective media area 2.5x in the same space.

### BENEFITS

**Maximum** MERV 16/16A efficiency at low resistance to air flow

**Mitigates** 99% of dangerous airborne PM1 & PM2.5 particulate

**Media** is not charged – efficiency does not diminish during use

### APPLICATIONS

- Hospitals
- Surgical Centers
- Commercial Buildings
- Food Processing Facilities
- Schools & Universities
- Museums
- Data Centers
- Human occupied indoor spaces

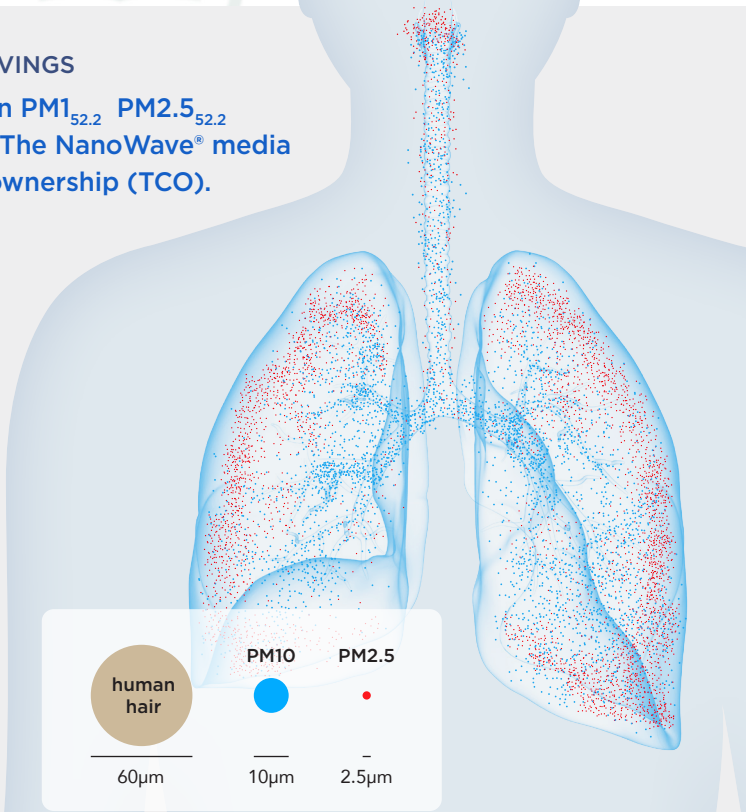
**NanoWave® Media**



### ULTIMATE MERV16/16A EFFICIENCY AND MAXIMUM ENERGY SAVINGS

**Revolution MERV 16 provides the highest level of efficiency on $PM1_{52.2}$ $PM2.5_{52.2}$ and $PM10_{52.2}$ microscopic matter deemed harmful to humans. The NanoWave® media design provides exceptional life and the lowest total cost of ownership (TCO).**

| US AQI Efficency | | $PM1_{52.2}$ | $PM2.5_{52.2}$ | $PM10_{52.2}$ |
|---|---|---|---|---|
| Particles | PM1 | **98** | **98** | **98** |
| | PM2.5 | MERV 15 | 90 | 91 | 93 |
| | PM10 | MERV 14 | 80 | 85 | 88 |
| Gases | NO2 | MERV 13 | 63 | 75 | 81 |
| | O3 | MERV 12 | 43 | 63 | 72 |
| | SO2 | MERV 11 | 28 | 50 | 63 |
| | CO | MERV 10 | 15 | 36 | 52 |
| | | MERV 9 | 8 | 25 | 43 |
| | | MERV 8 | 5 | 16 | 35 |




MADE IN USA

*Revolution synthetic media is manufactured in the USA at an ISO-certified facility*

**Rensa Filtration** | 966 Corporate Blvd. Suite 150 Aurora, IL 60502

# Revolution Pocket Filter MERV 16/16A

## BENEFITS

- Patented dust pocket waves throughout media
- 100% Mechanical filtration – not statically charged to boost efficiency
- Filter efficiency does not diminish over time
- Exceptionally high Dust Holding Capacity - 790 gms
- Highest MERV 16A level efficiency for maximum protection
- Effective mitigation of submicron airborne particles harmful to humans
- Temperatures up to 140°F (60°C)
- Excellent protection for HVAC systems, equipment, and ductwork
- Media manufactured in the USA in an ISO Certified facility
- Lowest resistance available for MERV 16/16A



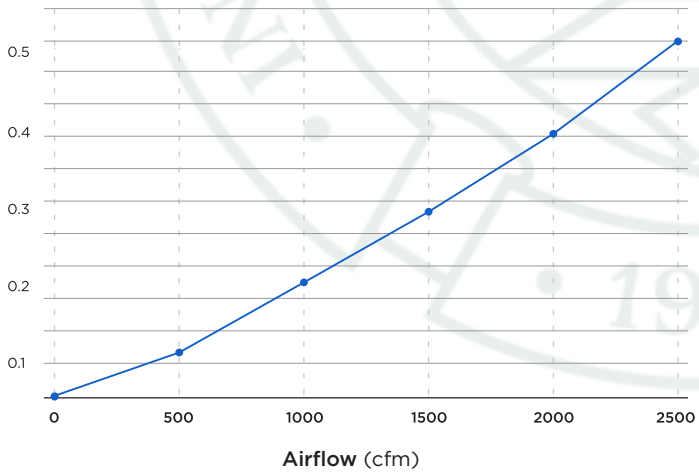
| MERV Value | Part Number | Nominal | Actual | Airflow *cfm* | Initial Resistance *inches W.C.* | Filter Media *Area ft²* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **16/16A** | RV1624242208 | **30 x 30 x 40** | 29" x 29" x 40" | **2000** | **0.40"** | **80** |
| **16/16A** | RV1612242204 | **24 x 24 x 22** | 23.3" x 23.3" x 22" | **1000** | **0.34"** | **29** |

- Standard depth: 22", 30", 40"
- Standard Pockets: 10, 8

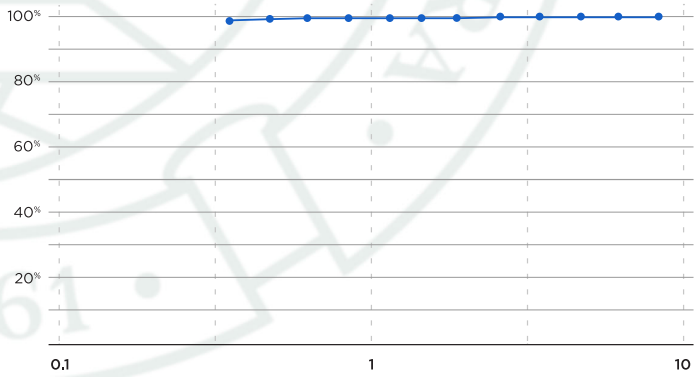
*Performance Data Notes for Revolution Pocket Filters:*

1. Pressure drop represents inches of water (0.34" w.c.) for 22" depth filter independent lab tested at 2,000 cfm
2. Efficiency is based upon ASHRAE 52.2-2012 Appendix J

**RESISTANCE** *in W.C.*




**REMOVAL EFFICIENCY** *Particle size in micrometers*



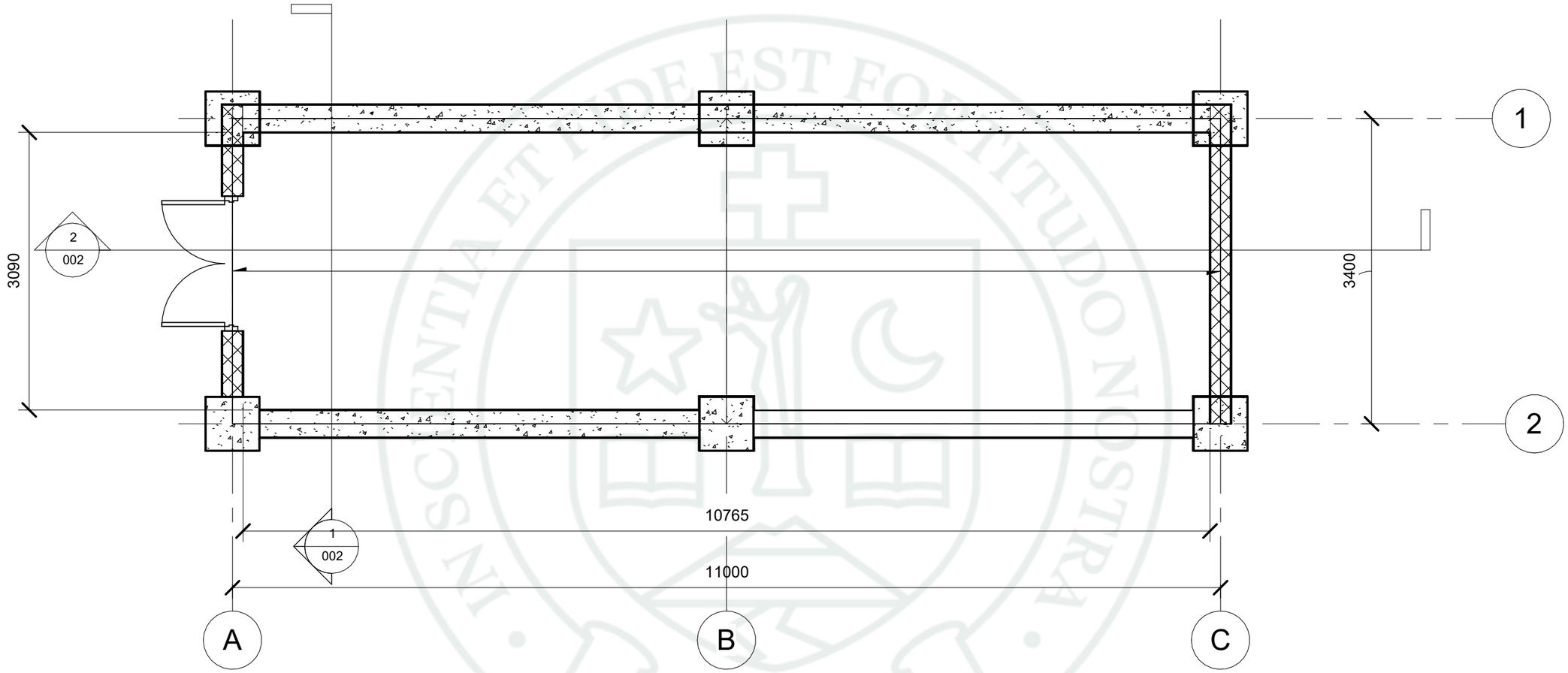

For questions and orders contact
Rensa Filtration at **info@rensafiltration.com**
or visit **Rensafiltration.com**

## PERFORMANCE EFFICIENCY

**from actual test results*

| | $PM1_{52.2}$ | $PM2.5_{52.2}$ | $PM10_{52.2}$ |
|---|---|---|---|
| **MERV 16/16A** | **99%** | **100%** | **100%** |

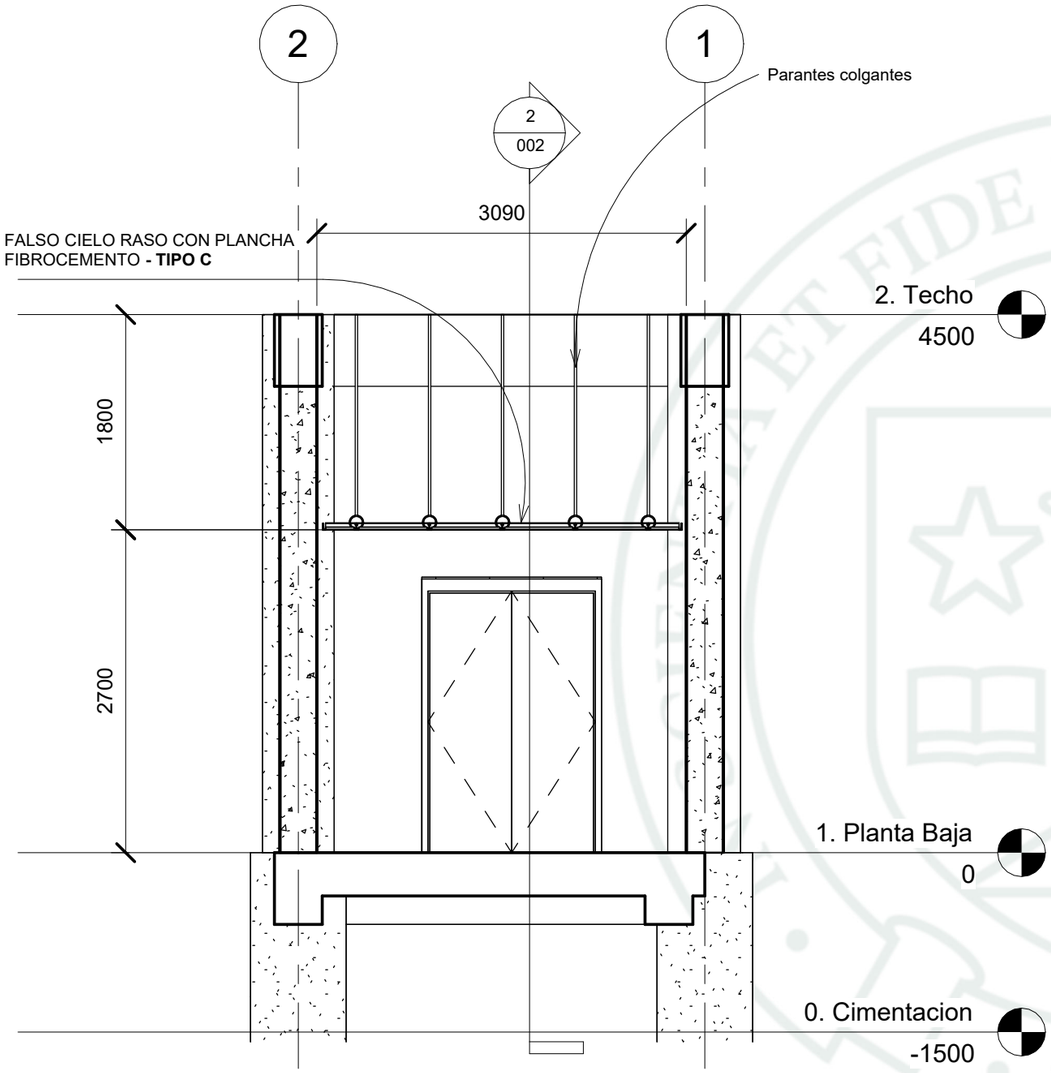
# Anexos 5: Planos



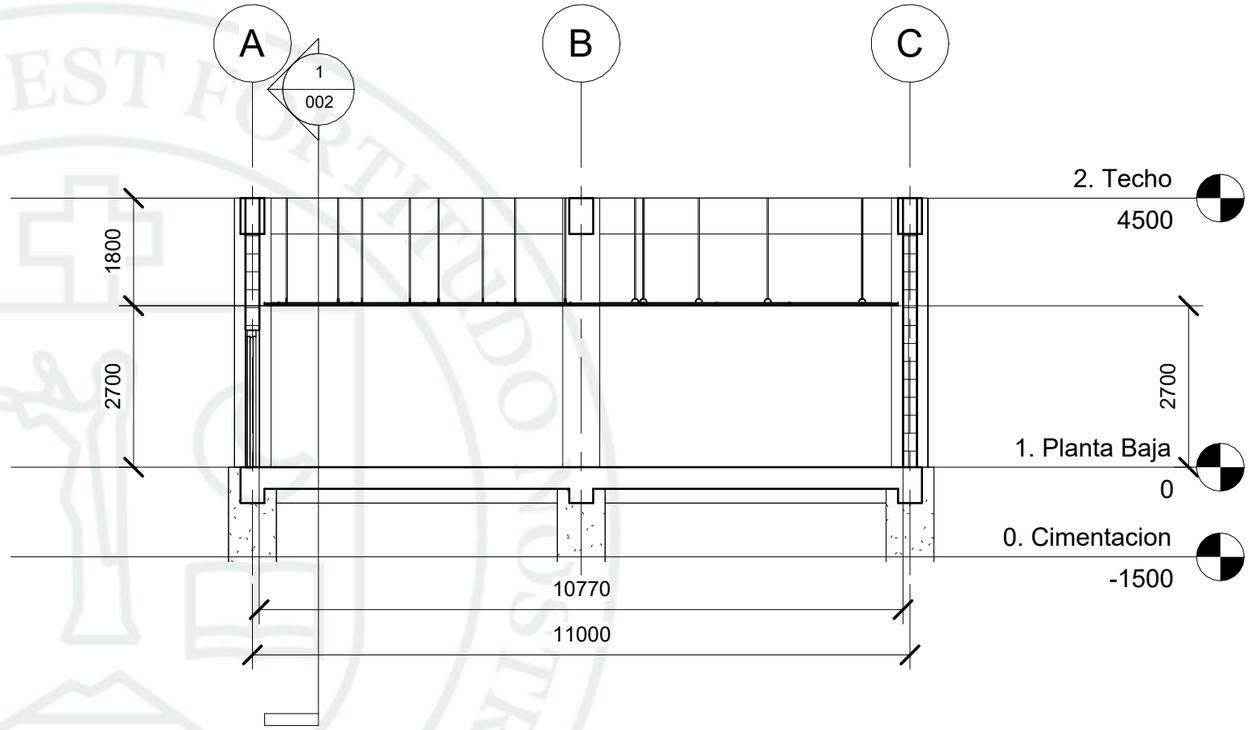

# 1. Planta Baja

1 : 50

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Universidad Católica de Santa María<br>Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica<br>Mecánica Eléctrica y Mecatrónica | Creado por: | Aprobado por: Verificador | Tipo de Documento: Plano de presentación | |
| Curso - Sección / Grupo o Tesis: Sala de Operaciones | Título, Subtítulo: Plano Planta Baja Nivel +0m | | Número de Referencia: PL-MEC-HVAC-001 | Rev.: A |
| | | | Escala: Indicada / Form.: A3 / Fecha: 31/03/2026 | Hoja: 1 |

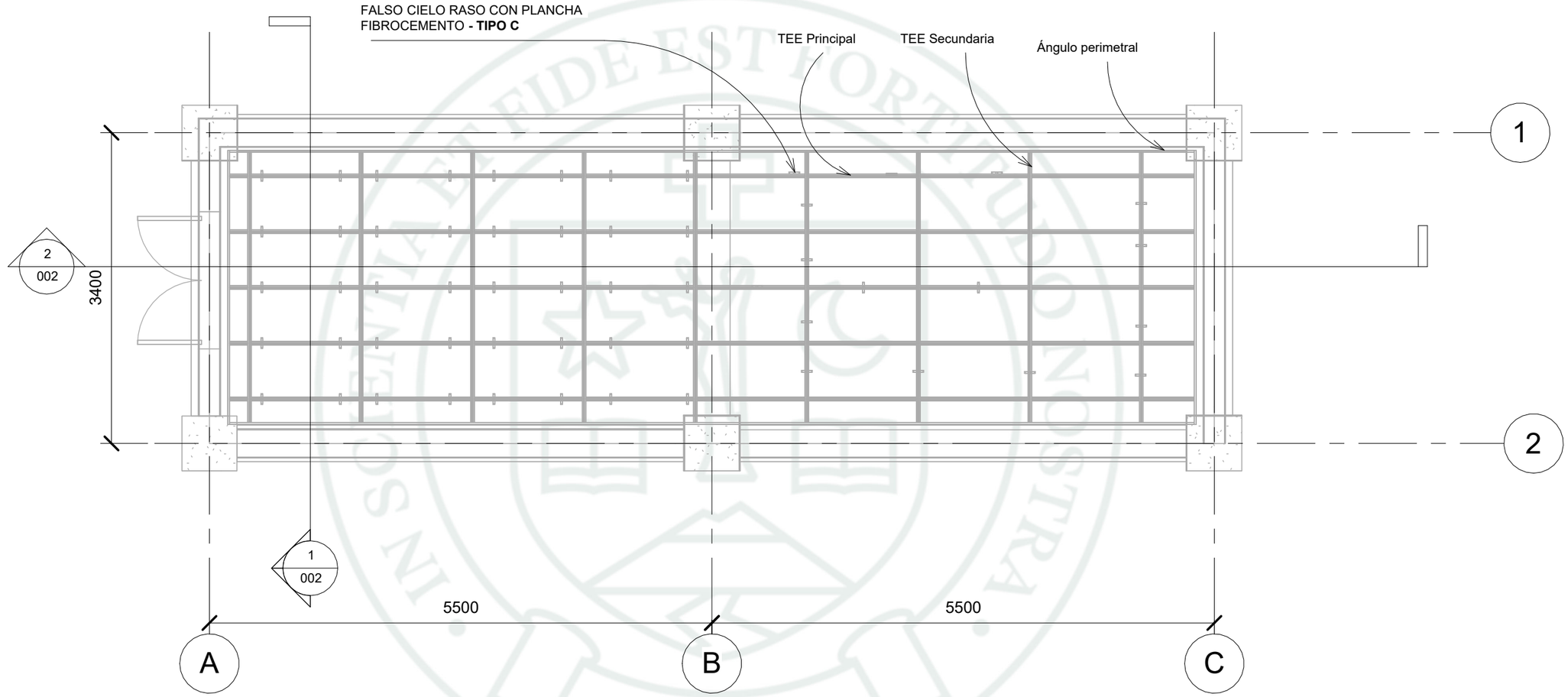



1 Sección 1
1 : 50




2 Sección 2
1 : 100

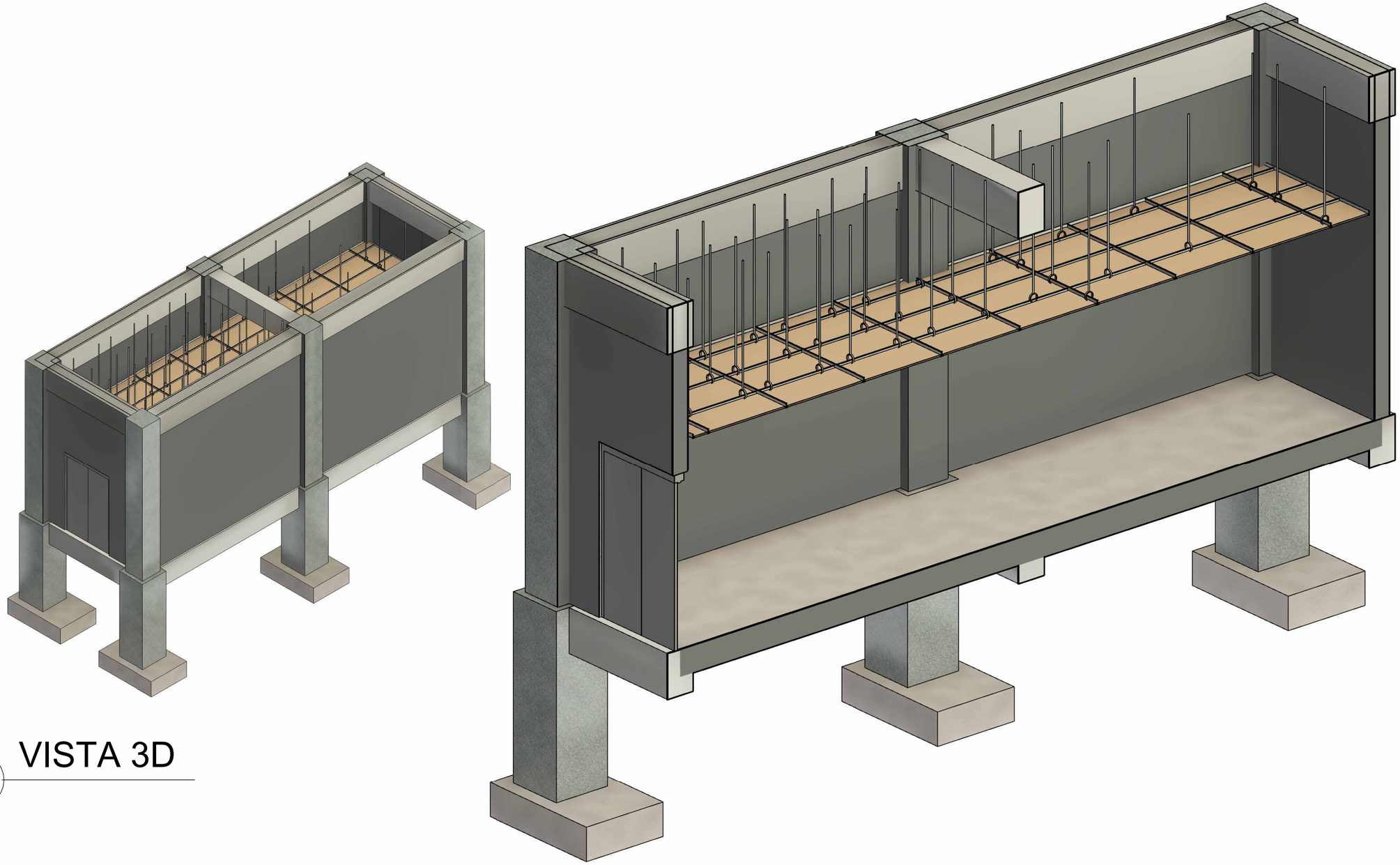
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Universidad Católica de Santa María<br>Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica<br>Mecánica Eléctrica y Mecatrónica | Creado por: | Aprobado por: Verificador | Tipo de Documento: Plano de presentación | |
| Curso - Sección / Grupo o Tesis: Sala de Operaciones | Título, Subtítulo: Cortes y Secciones 1 y2 | | Número de Referencia: PL-MEC-HVAC-002 | Rev.: A |
| | | | Escala: Indicada / Form.: A3 / Fecha: 31/03/2026 | Hoja: 1 |




# 2. Techo

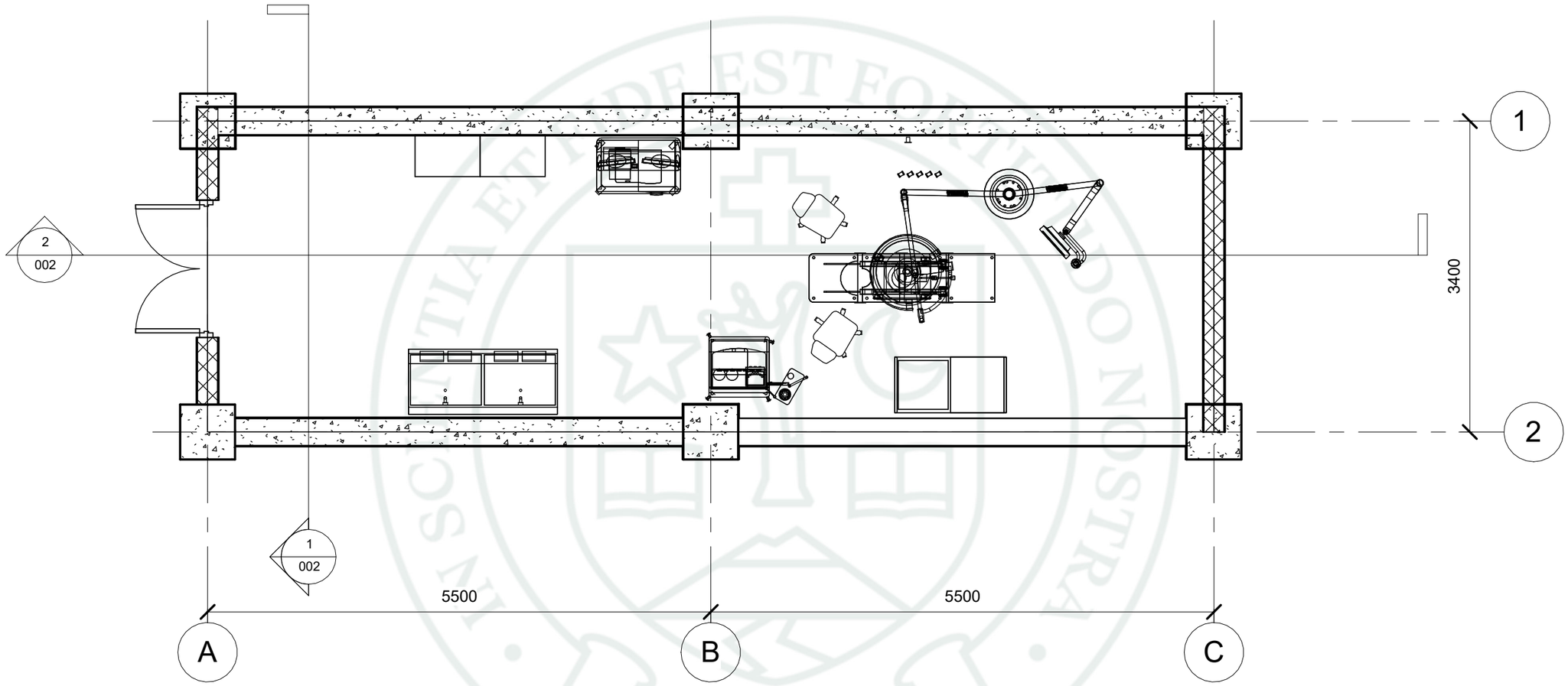
1 : 50

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Universidad Católica de Santa María<br>Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica<br>Mecánica Eléctrica y Mecatrónica | Creado por: | Aprobado por: Verificador | Tipo de Documento: Plano de presentación | |
| Curso - Sección / Grupo o Tesis: Sala de Operaciones | Título, Subtítulo: Plano Techo N+4m | | Número de Referencia: PL-MEC-HVAC-003 | Rev.: A |
| | | | Escala: Indicada / Form.: A3 / Fecha: 31/03/2026 | Hoja: 1 |



1 VISTA 3D

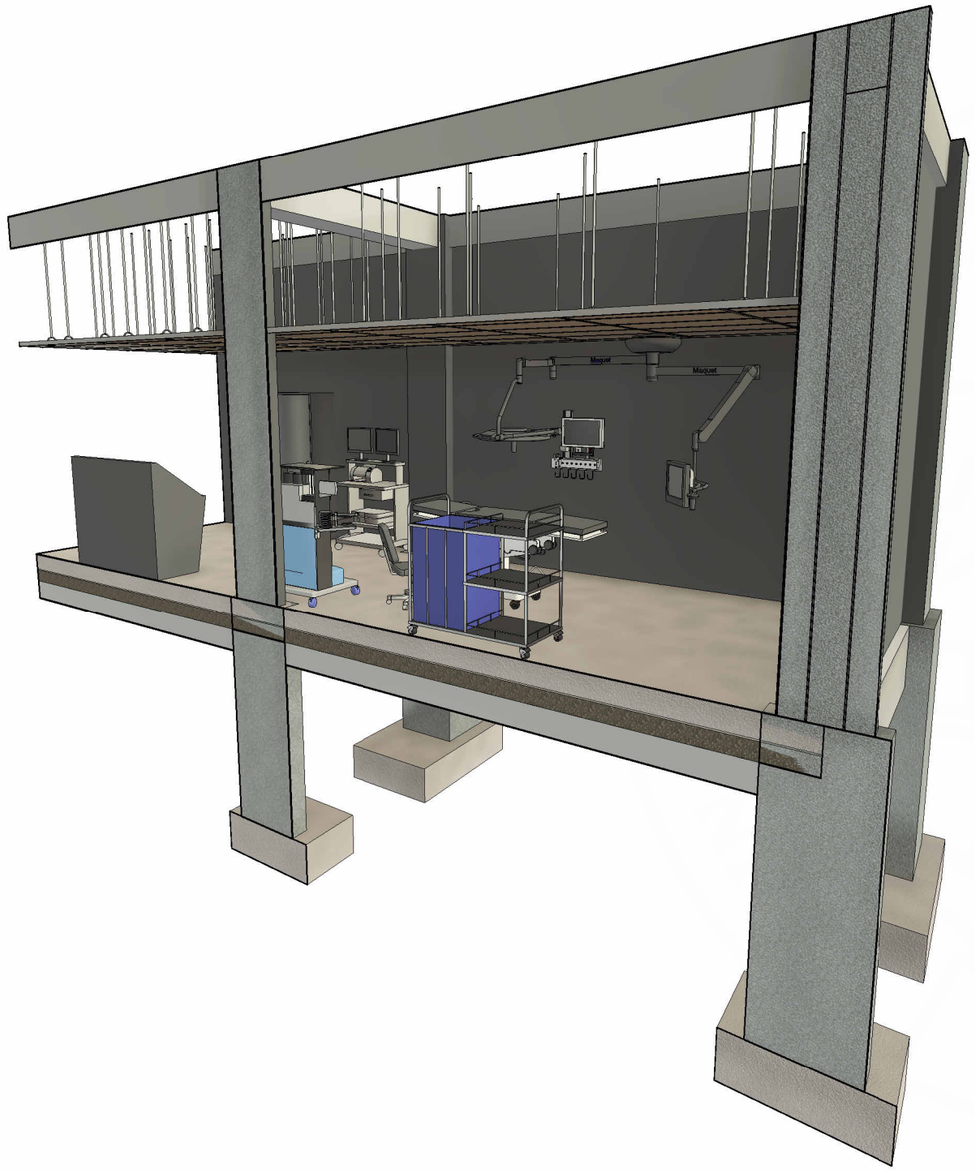
| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Universidad Católica de Santa María<br>Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica<br>Mecánica Eléctrica y Mecatrónica | Creado por: | Aprobado por: Verificador | Tipo de Documento: Plano de presentación | | | |
| | Título, Subtítulo: VISTA 3D Y CORTES | | Número de Referencia: PL-MEC-HVAC-004 | | | Rev.: A |
| Curso - Sección / Grupo o Tesis: Sala de Operaciones | | | Escala: Indicada | Form.: A3 | Fecha: 31/03/2026 | Hoja: 1 |

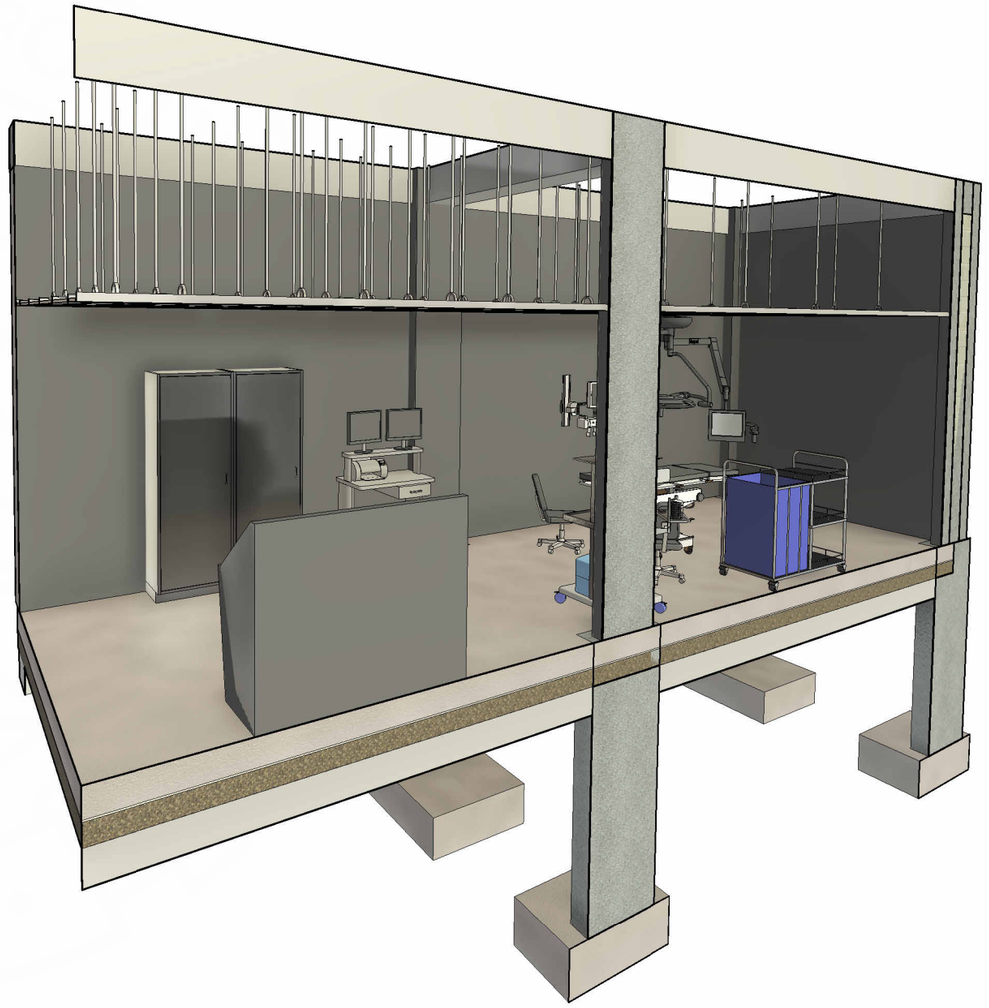



# 1. Planta Baja Sala Equipada

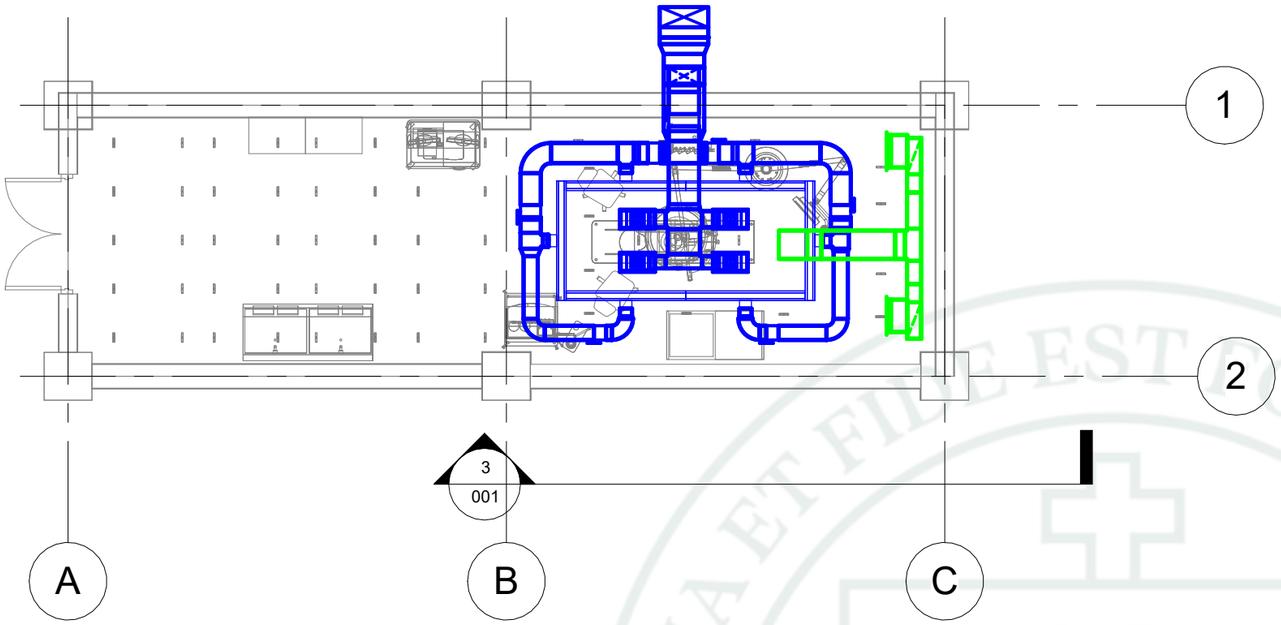
1 : 50

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Universidad Católica de Santa María<br>Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Mecánica Eléctrica y Mecatrónica | Creado por: | Aprobado por: Verificador | Tipo de Documento: Plano de presentación | | | |
| Curso - Sección / Grupo o Tesis: Sala de Operaciones | Título, Subtítulo: Plano Sala de operaciones Planta Baja Equipada | | Número de Referencia: PL-MEC-HVAC-005 | | | Rev.: A |
| | | | Escala: Indicada | Form.: A3 | Fecha: 31/03/2026 | Hoja: 1 |



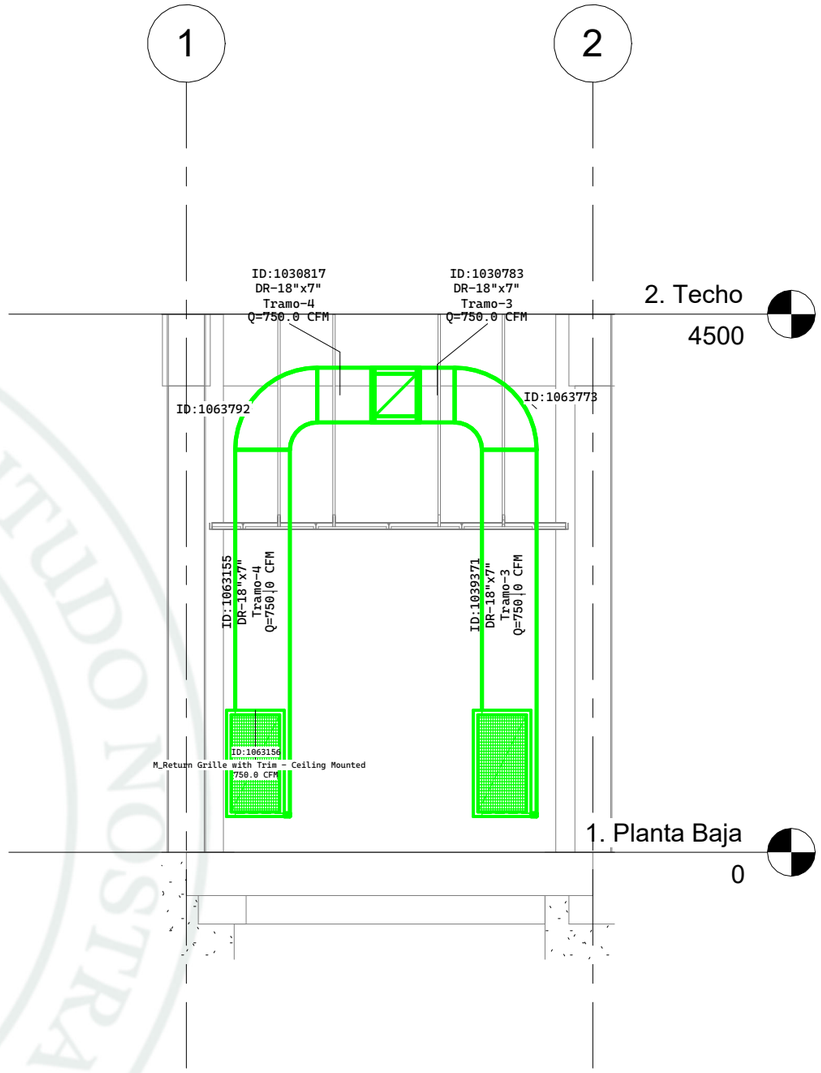



| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Universidad Católica de Santa María<br>Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica<br>Mecánica Eléctrica y Mecatrónica | Creado por: | Aprobado por: Verificador | Tipo de Documento: Plano de presentación | |
| Curso - Sección / Grupo o Tesis: Sala de Operaciones | Título, Subtítulo: Sala de Operaciones Equipada<br>Vistas y Cortes 3D | | Número de Referencia: PL-MEC-HVAC-006 | Rev.: A |
| | | | Escala: Indicada / Form.: A3 / Fecha: 31/03/2026 | Hoja: 1 |



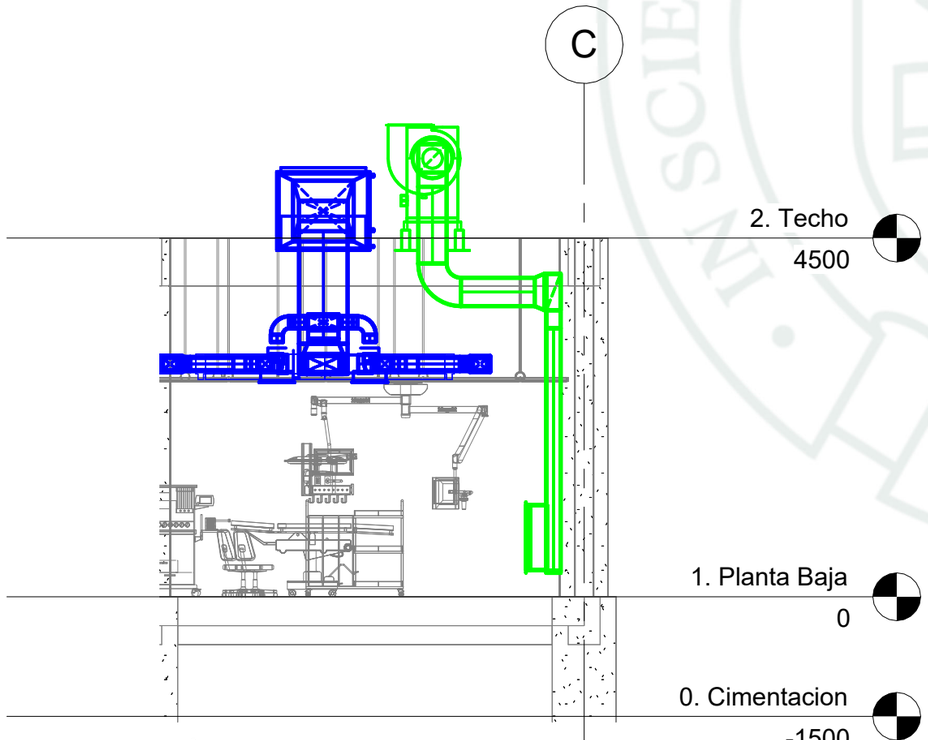

2 **Planta Instalación HVAC**

1 : 75




1 **Sección 2**

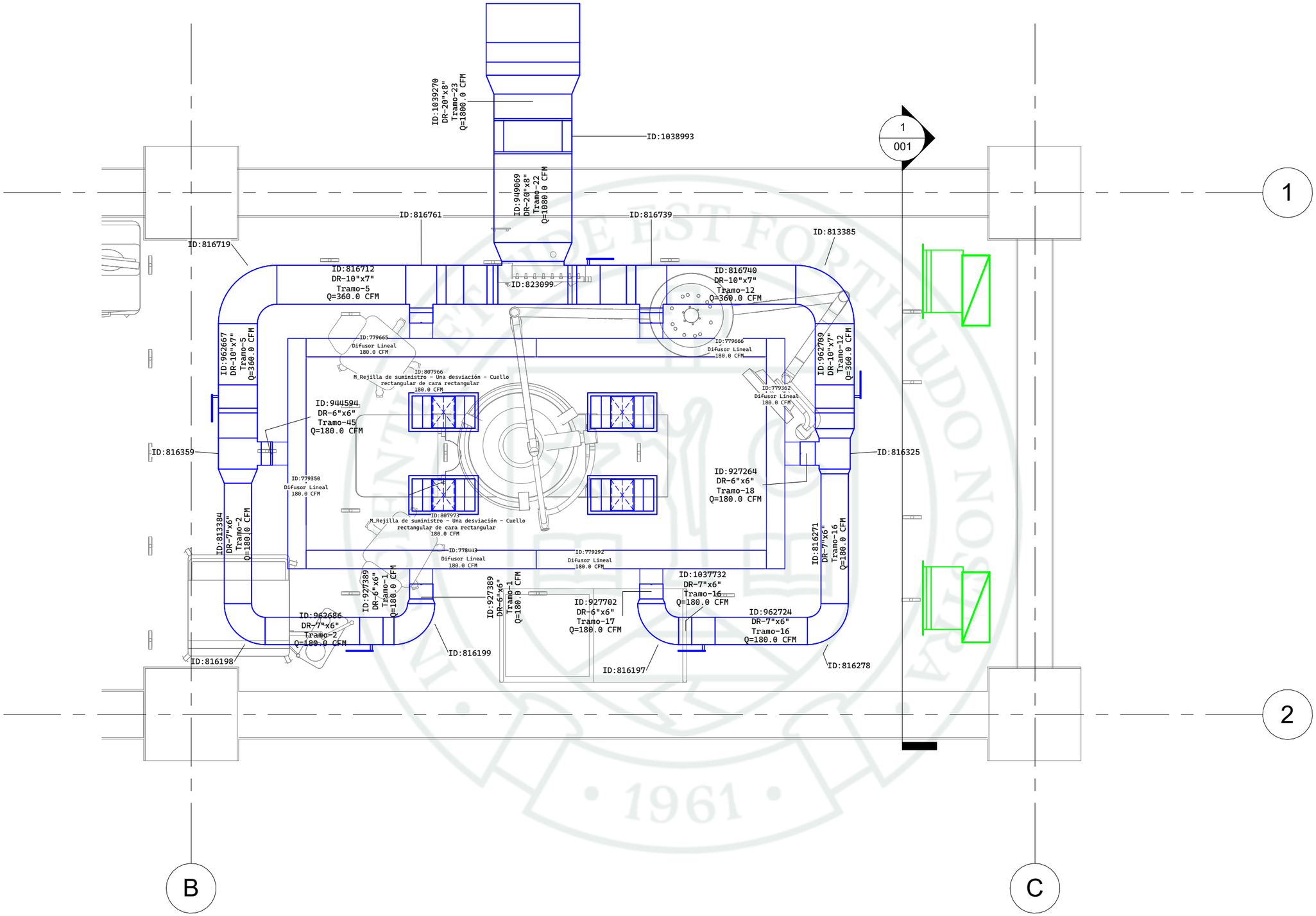
1 : 50




3 **Sección 1**

1 : 75

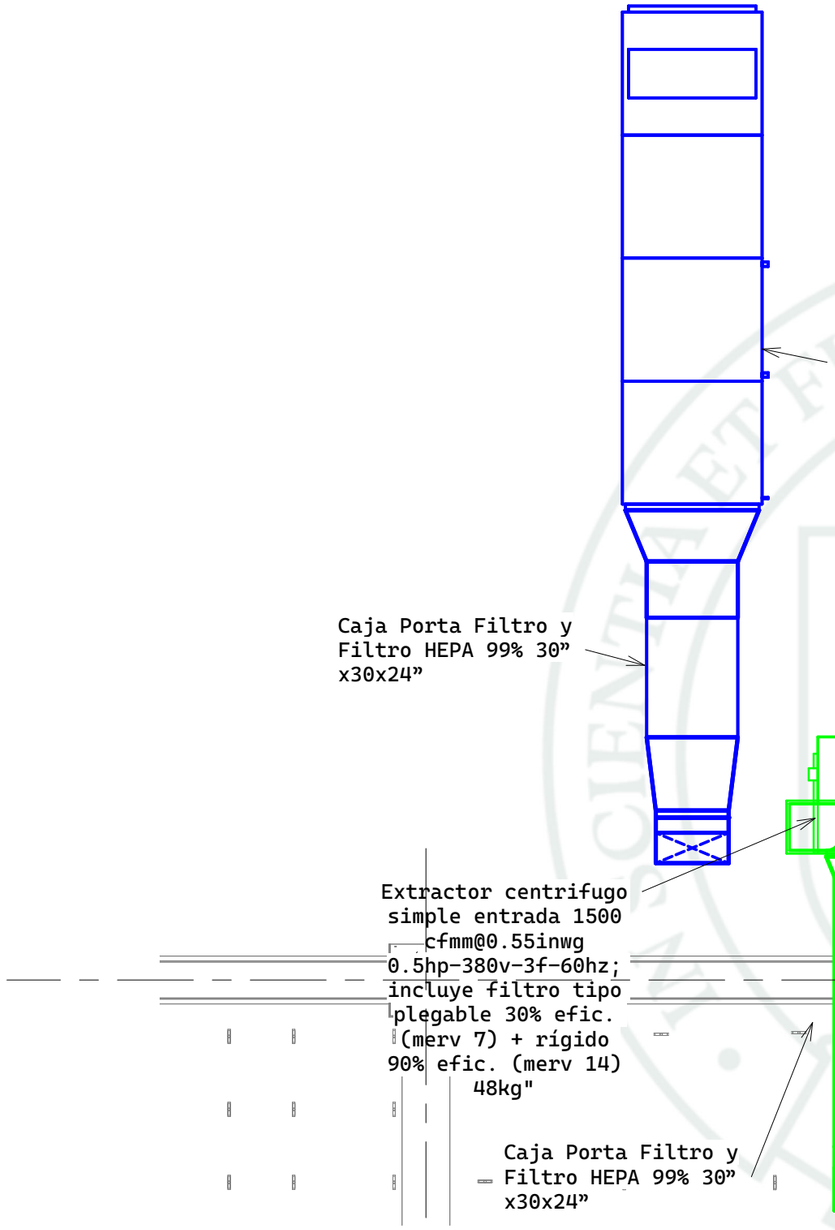
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Universidad Católica de Santa María<br>Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Mecánica Eléctrica y Mecatrónica | Creado por: Kiher Moran | Aprobado por: Verificador | Tipo de Documento: Plano de presentación | |
| | Título, Subtítulo: INSTALACIONES MECANICAS HVAC, VISTAS Y CORTES | | Número de Referencia: PL-MEC-HVAC-001 | Rev.: A |
| Curso - Sección / Grupo o Tesis: Sala de Operaciones | | | Escala: Indicada / Form.: A3 / Fecha: 31/03/2026 | Hoja: 1 |




1 INSTALACIONES MECANICAS HVAC NIVEL +2900

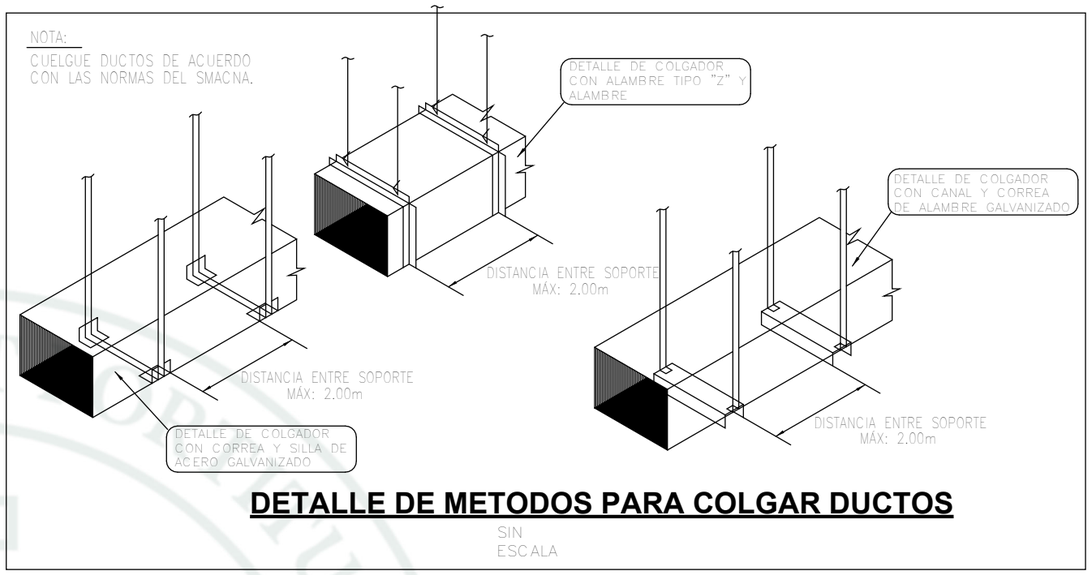
1 : 25

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Universidad Católica de Santa María<br>Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica<br>Mecánica Eléctrica y Mecatrónica | Creado por: Kiher Moran | Aprobado por: Ludwin Huacasi | Tipo de Documento: Plano de presentación | |
| Curso - Sección / Grupo o Tesis: Sala de Operaciones | Título, Subtítulo: INSTALACIONES MECANICAS HVAC NIVEL+2900 | | Número de Referencia: PL-MEC-HVAC-002 | Rev.: A |
| | | | Escala: Indicada / Form.: A3 / Fecha: 31/03/2026 | Hoja: 1 |



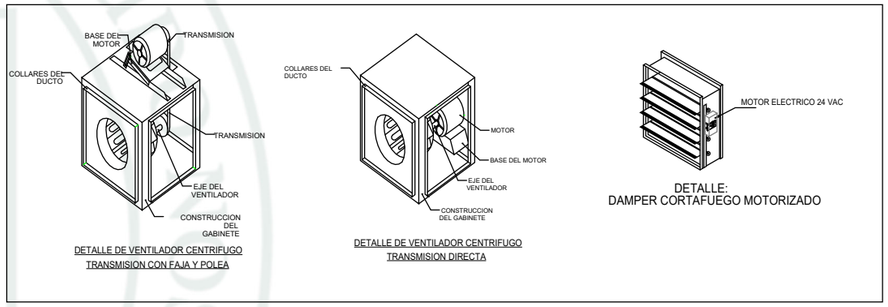

1 VISTA DE TECHO

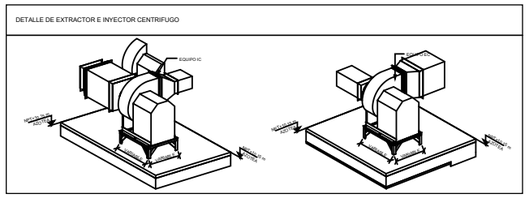
1 : 50

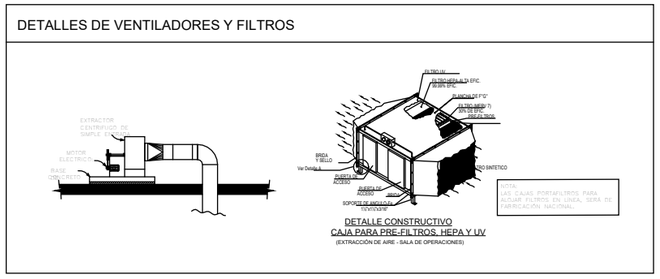



**DETALLE DE METODOS PARA COLGAR DUCTOS**

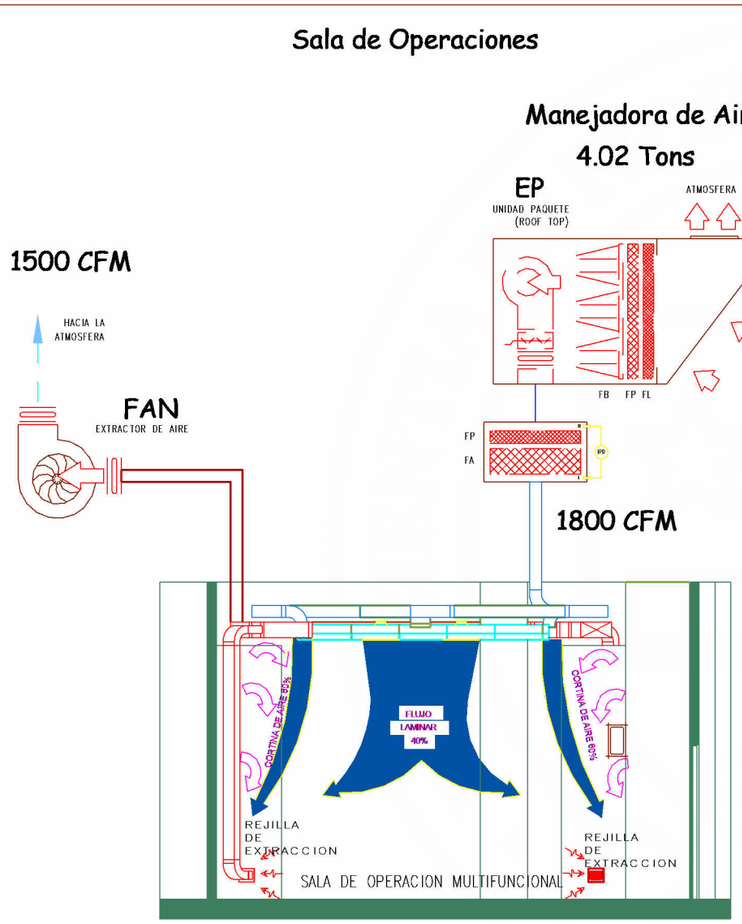
SIN ESCALA

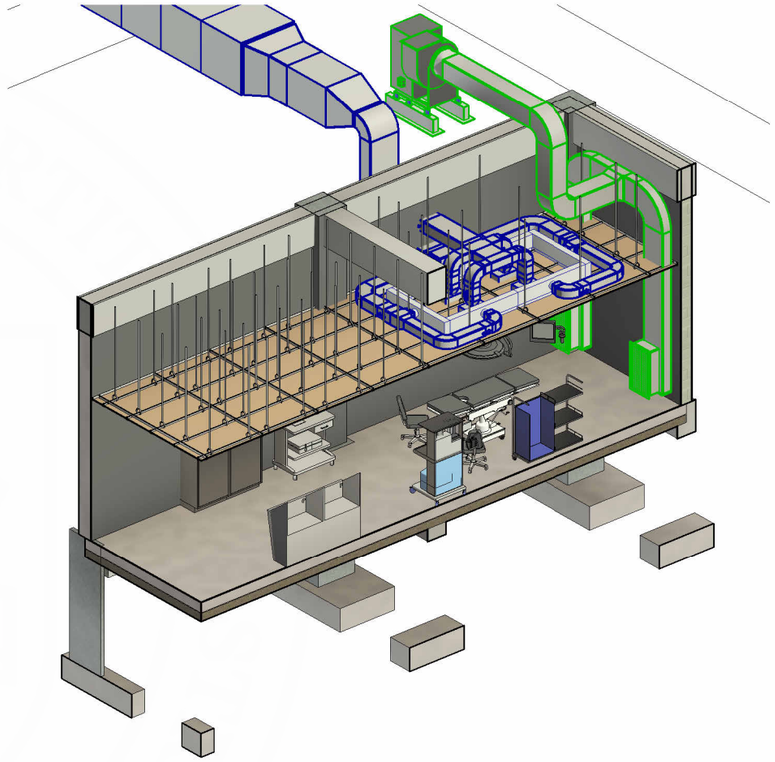



| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Universidad Católica de Santa María<br>Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica<br>Mecánica Eléctrica y Mecatrónica | Creado por: Kiher Moran | Aprobado por: Verificador | Tipo de Documento: Plano de presentación | |
| Curso - Sección / Grupo o Tesis: Sala de Operaciones | Título, Subtítulo: INSTALACIONES MECÁNICAS HVAC NIVEL+4200 | | Número de Referencia: PL-MEC-HVAC-003 | Rev.: A |
| | | | Escala: Indicada / Form.: A3 / Fecha: 31/03/2026 | Hoja: 1 |

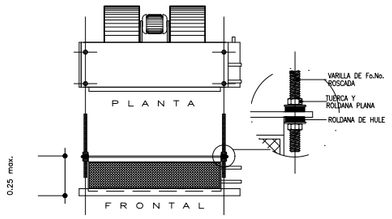


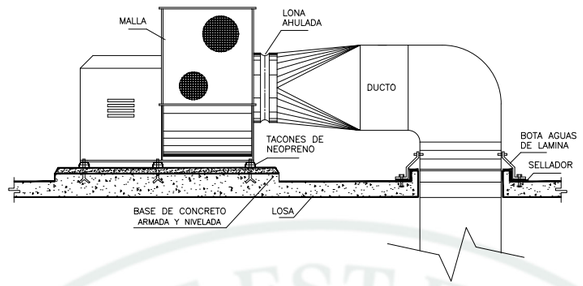
1 SALA DE OPERACIONES ISOMETRICO

# ESQUEMA DE CLIMATIZACIÓN PARA SALA DE OPERACIONES MULTIFUNCIONAL

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Universidad Católica de Santa María<br>Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Mecánica Eléctrica y Mecatrónica | Creado por: Kiher Moran | Aprobado por: Verificador | Tipo de Documento: Plano de presentación | | |
| Curso - Sección / Grupo o Tesis: Sala de Operaciones | Título, Subtítulo: DETALLES DE SALA DE OPERACIONES Y ESQUEMAS | | Número de Referencia: PL-MEC-HVAC-004 | | Rev.: A |
| | | | Escala: Indicada | Form.: A3 | Fecha: 31/03/2026 / Hoja: 1 |




DETALLE TIPO PARA SOPORTE DE FAN & COIL




DETALLE DE CONEXION DE
VENTILADOR DE EXTRACCION

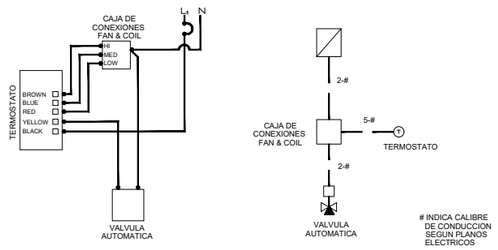



DIAGRAMA DE FUERZA Y CONTROL PARA
FAN & COIL CON SERPENTIN DE REFRIGERANTE R410

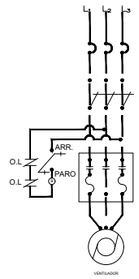



DIAGRAMA DE FUERZA
PARA VENTILADOR DE
EXTRACCION

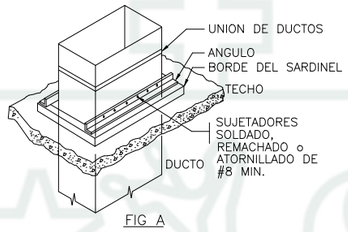
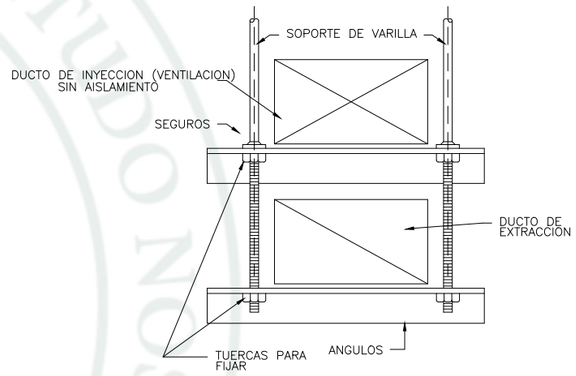


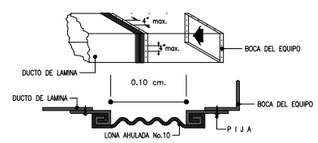

FIG A

| FIG. A – TAMAÑOS SUGERIDOS EN MILIMETROS | |
|---|---|
| TAM. DEL DUCTO | ANGULO |
| 914 x 457 | 38 x 38 x 3 |
| 1219 x 610 | 38 x 38 x 3 |
| 1524 x 762 | 38 x 38 x 3 |
| MAS DE 1524 | 51 x 51 x 3 |

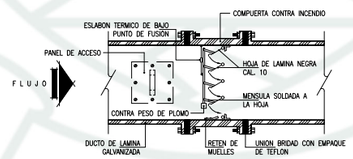
MAS DE 1524 mm INCREMENTAR TAMAÑO DE ANGULO COMO SE REQUIERA POR EL ESPACIO Y TAMAÑO DE DUCTO.

SOPORTES PARA DUCTOS

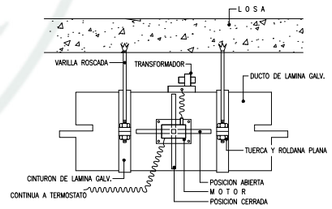



DETALLE TIPO PARA CONEXION FLEXIBLE
DE LONA AHULADA

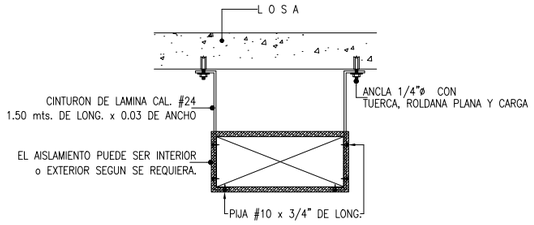



DETALLE TIPO DE INSTALACION DE COMPUERTA
CONTRA INCENDIO EN DUCTO HORIZONTAL

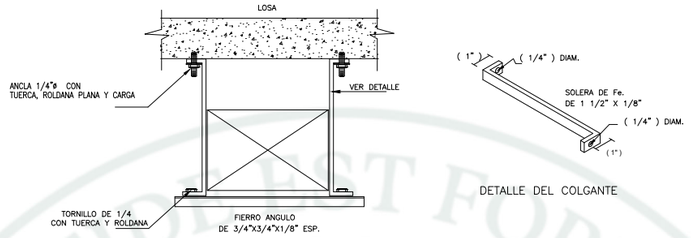



DETALLE TIPO PARA COMPUERTA MOTORIZADA

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Universidad Católica de Santa María<br>Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica<br>Mecánica Eléctrica y Mecatrónica | Creado por: Kiher Moran | Aprobado por: Verificador | Tipo de Documento: Plano de presentación | |
| Curso - Sección / Grupo o Tesis: Sala de Operaciones | Título, Subtítulo: DETALLES DE INSTALACION EQUIPOS EN TECHO | | Número de Referencia: PL-MEC-HVAC-005 | Rev.: A |
| | | Escala: Indicada | Form.: A3 | Fecha: 31/03/2026 | Hoja: 1 |

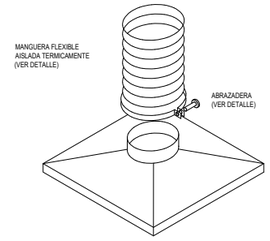



DETALLE TIPO PARA SOPORTE DE DUCTOS
RECTANGULARES MENORES DE 30"

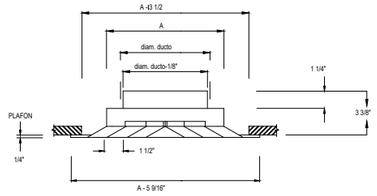



DETALLE DEL COLGANTE

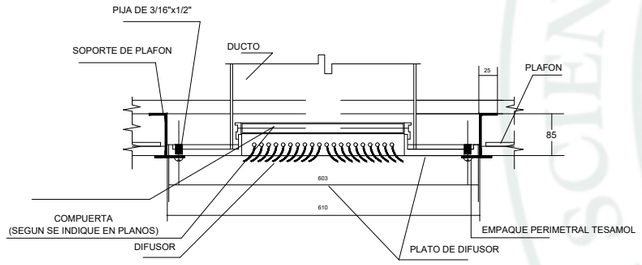
DETALLE TIPO PARA SOPORTE DE DUCTOS
RECTANGULARES MAYORES DE 40"



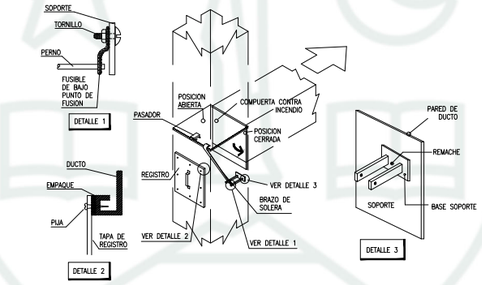

DETALLE DE INTERCONEXION
DE DUCTO FLEXIBLE CON
DIFUSORES



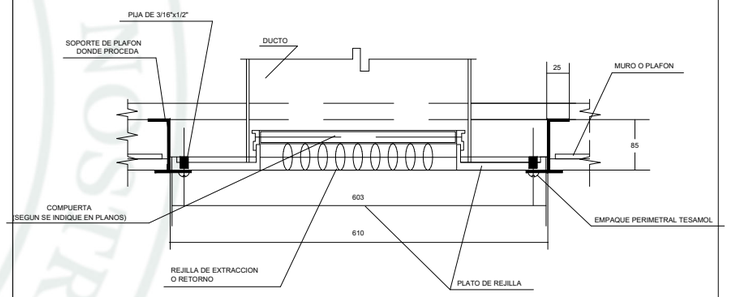

DETALLE DE INSTALACION
DE DIFUSOR




DETALLE DE MONTAJE DE DIFUSOR



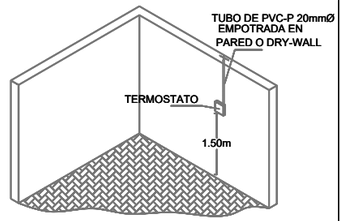

DETALLE DE COMPUERTA CONTRA INCENDIO
PARA DUCTO RECTANGULAR



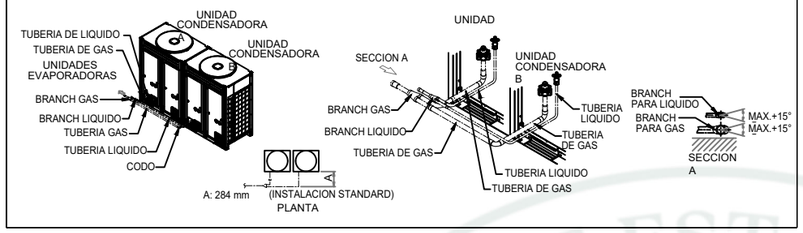

DETALLE DE MONTAJE DE REJILLA

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Universidad Católica de Santa María<br>Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica<br>Mecánica Eléctrica y Mecatrónica | Creado por: Kiher Moran | Aprobado por: Verificador | Tipo de Documento: Plano de presentación | |
| Curso - Sección / Grupo o Tesis: Sala de Operaciones | Título, Subtítulo: DETALLES DE SOPORTES EN DUCTOS | | Número de Referencia: PL-MEC-HVAC-006 | Rev.: A |
| | | | Escala: Indicada / Form.: A3 / Fecha: 31/03/2026 | Hoja: 1 |

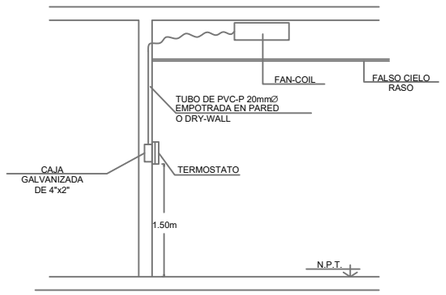
## DETALLE DE MONTAJE DE LOS TERMOSTATOS



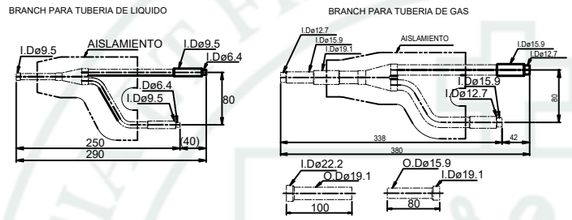

## DETALLE DE CONEXIÓN DE TUBERIAS DE REFRIGERACIÓN EN EQUIPOS VRV



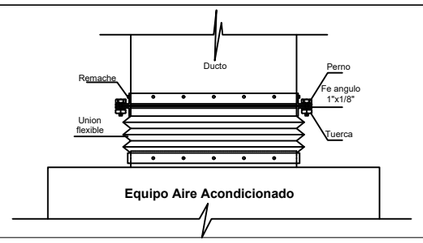

## ESQUEMA DE CONEXION DE TERMOSTATO



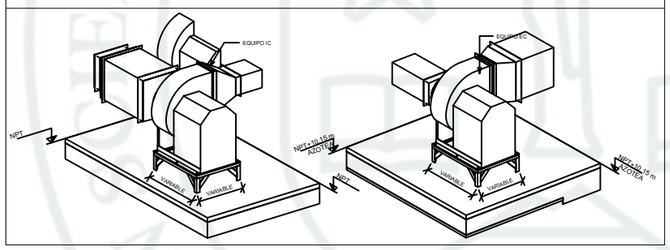

## ACCESORIO PARA TUBERIAS DE REFRIGERACIÓN (BRANCH KIT)



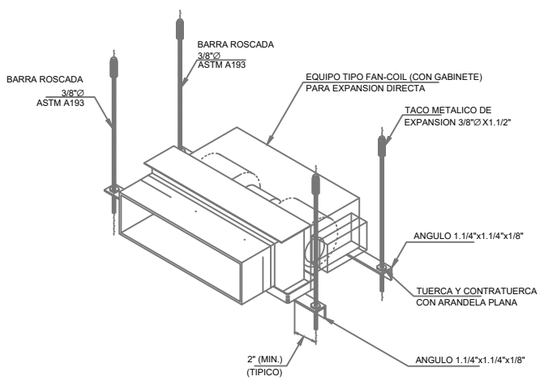

## DETALLE TIPICO UNIÓN FLEXIBLE



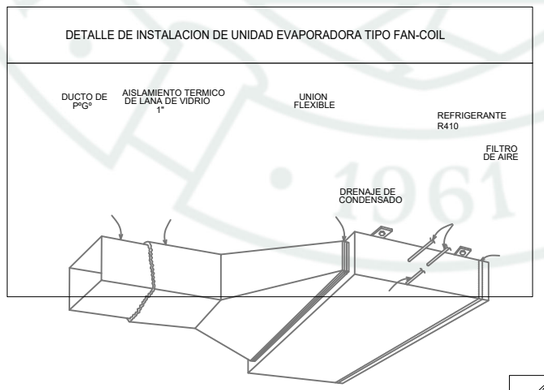

## DETALLE DE EXTRACTOR E INYECTOR CENTRIFUGO

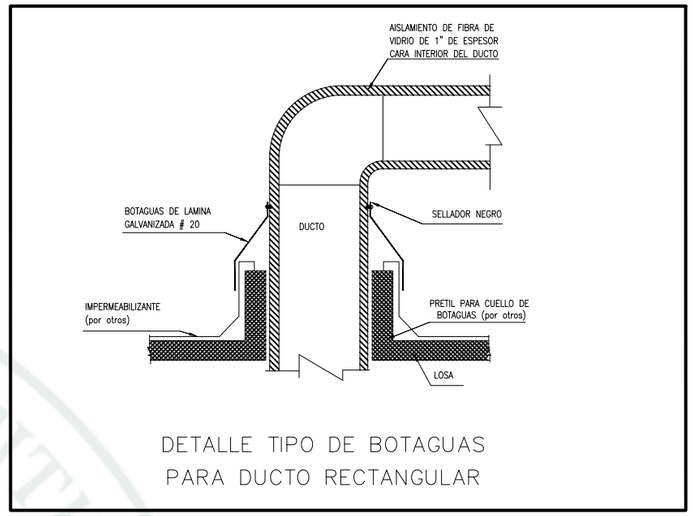



## DETALLE DE SUPORTACIÓN DE FAN-COIL

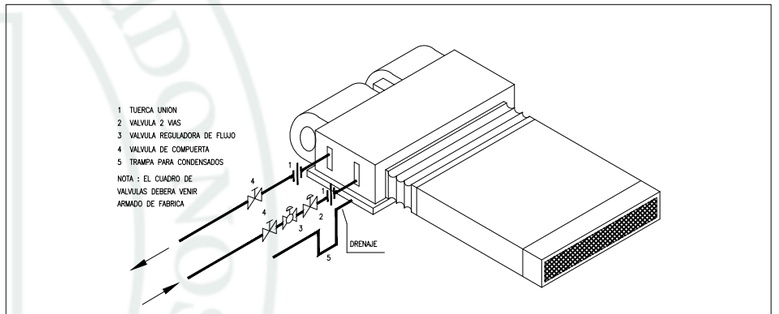



## DETALLE DE INSTALACION DE UNIDAD EVAPORADORA TIPO FAN-COIL

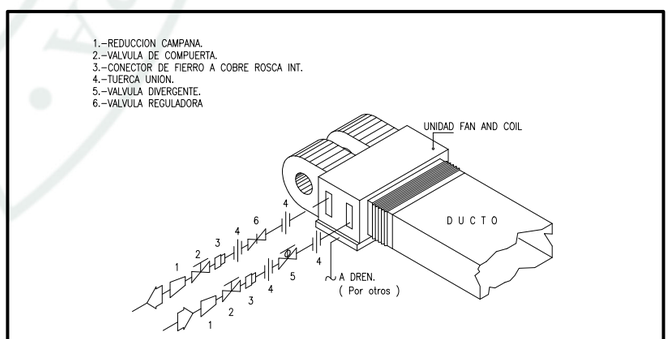



DETALLE TIPO DE BOTAGUAS
PARA DUCTO RECTANGULAR



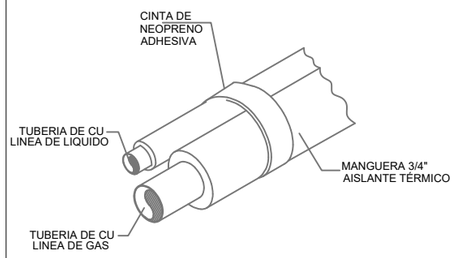

DETALLE DE CONEXION HIDRAULICA DE UNIDAD
SERPENTIN–VENTILADOR



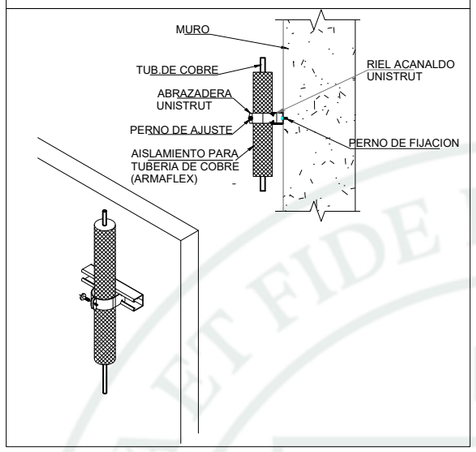

DETALLE TIPO PARA CONEXION A FAN & COIL

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Universidad Católica de Santa María<br>Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica<br>Mecánica Eléctrica y Mecatrónica | Creado por: Kiher Moran | Aprobado por: Verificador | Tipo de Documento: Plano de presentación | |
| Curso - Sección / Grupo o Tesis: Sala de Operaciones | Título, Subtítulo: DETALLES DE CONEXIONES EN DUCTOS | | Número de Referencia: PL-MEC-HVAC-007 | Rev.: A |
| | | | Escala: Indicada / Form.: A3 / Fecha: 31/03/2026 | Hoja: 1 |

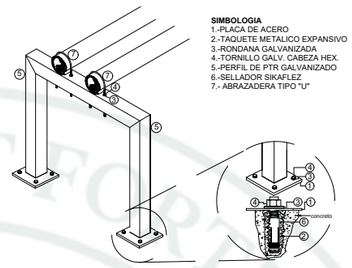
## DETALLE DE INSTALACION DE TUBERIAS DE COBRE




## DETALLE DE ANCLAJE DE TUBERIAS EN PAREDES

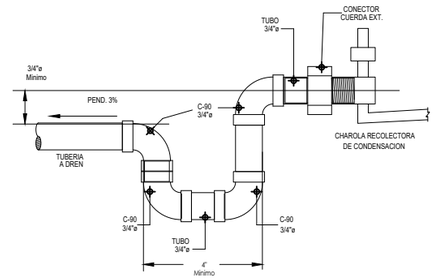



## DETALLE SOPORTERIA A TUBERIA DE REFRIGERACION EN AZOTEA

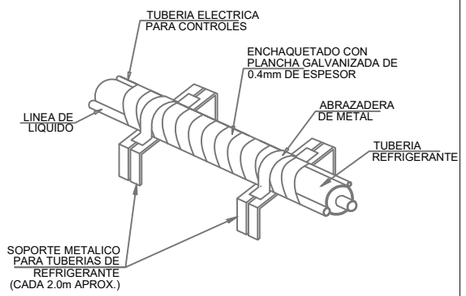


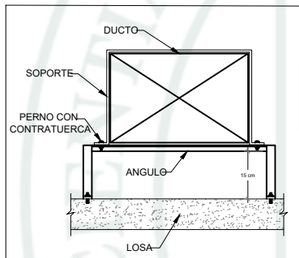
**SIMBOLOGIA**
1.-PLACA DE ACERO
2.-TAQUETE METALICO EXPANSIVO
3.-RONDANA GALVANIZADA
4.-TORNILLO GALV. CABEZA HEX.
5.-PERFIL DE PTR GALVANIZADO
6.-SELLADOR SIKAFLEZ
7.- ABRAZADERA TIPO "U"

## CONEXION DE DREN EN CHAROLA DE CONDENSADOS DE EQUIPO EVAPORADORAS




## DETALLE DE SOPORTE DE TUBERIA DE REFRIGERANTE EN AZOTEA

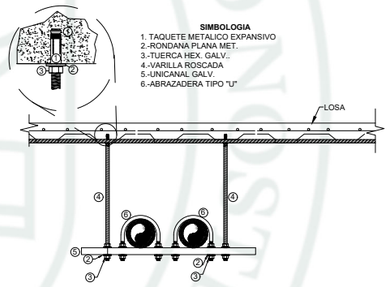



| MEDIDA | ∢ |
|---|---|
| 0 A 12" | 1"x1"x1/8" |
| 13" A 30" | 1½"x1½"x1/8" |

DETALLE: DUCTO ANCLADO AL PISO

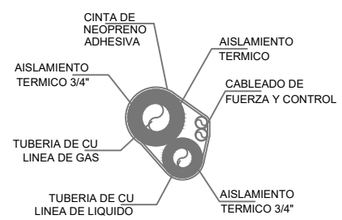
## DETALLE SOPORTERIA A TUBERIA DE REFRIGERACION DENTRO DE PLAFON



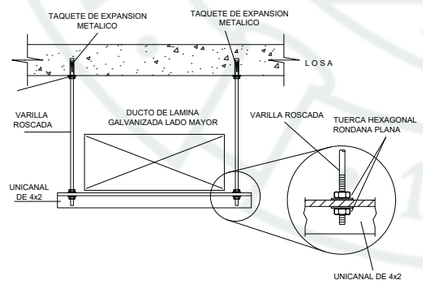
**SIMBOLOGIA**
1. TAQUETE METALICO EXPANSIVO
2.-RONDANA PLANA MET.
3.-TUERCA HEX. GALV..
4.-VARILLA ROSCADA
5.-UNICANAL GALV.
6.-ABRAZADERA TIPO "U"



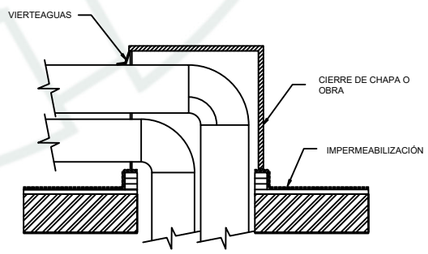
## DETALLE DE INSTALACION DE TUBERIAS Y CONEXIONADO



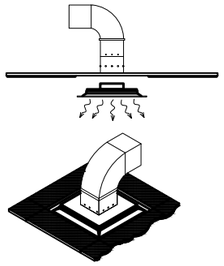

## SOPORTE PARA DUCTO EN HORIZONTAL



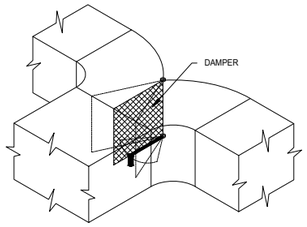

## DETALLE CONDUCTOS EN CUBIERTA CON IMPERMEABILIZACION



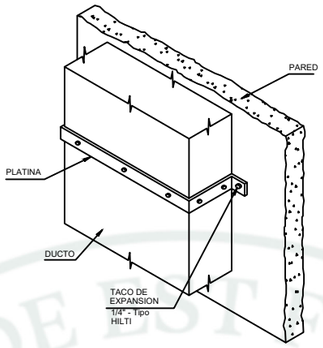

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Universidad Católica de Santa María<br>Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica<br>Mecánica Eléctrica y Mecatrónica | Creado por: Kiher Moran | Aprobado por: Verificador | Tipo de Documento: Plano de presentación | |
| Curso - Sección / Grupo o Tesis: Sala de Operaciones | Título, Subtítulo: DETALLES DE INSTALACIÓN, CONEXIONES Y AISLAMIENTO | | Número de Referencia: PL-MEC-HVAC-008 | Rev.: A |
| | | Escala: Indicada / Form.: A3 / Fecha: 31/03/2026 | | Hoja: 1 |

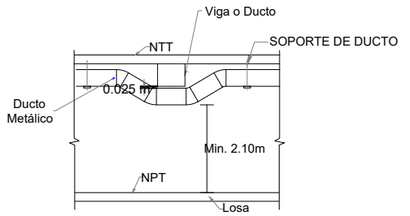


DETALLE: DIFUSOR EN FALSO CIELO RASO



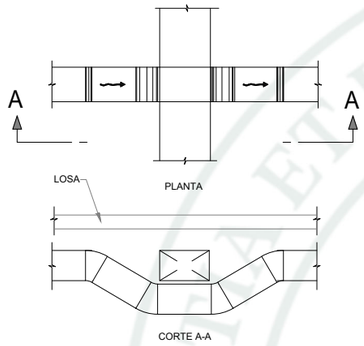

DETALLE TIPICO DE DAMPER MANUAL
PARA DUCTO PANTALON




- NOTA: La separacion entre ductos y viga debe ser minimo de 0.025m

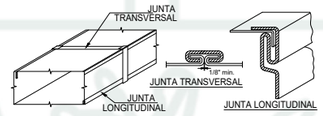
DETALLE TIPICO: CRUCE DE DUCTOS EN VIGAS
O DUCTO DE INSTALACIONES MECANICAS




DETALLE TIPICO: CRUCE DE DUCTOS

| DIMENSIONES DEL LADO MAYOR DEL DUCTO | PLATINAS | CANTIDAD DE AUTORROSCANTES | | DISTANCIA ENTRE SOPORTES |
|---|---|---|---|---|
| | | LADO MAYOR | LADO MENOR | |
| 12" | 1"x1/8" | 02 | 03 | 8 pies |
| 18" | 1.1/4x1/8" | 03 | 04 | 8 pies |
| 30" O MAS | 1.1/2"x1/4" | 04 | 05 | 8 pies |

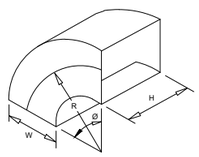
DETALLE DE SOPORTE PARA DUCTOS VERTICALES




DETALLE: DOBLEZ Y EMPALME DE DUCTOS

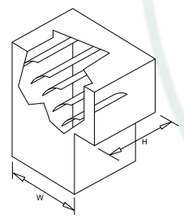
DETALLE DE CODOS RECTANGULARES

TIPO RE 1
CODO
CIRCULAR

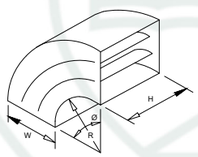



EJE DEL CONDUCTO R=3W/2
CUANDO R/W=0.5 UTILIZAR CODO
RECTATNGULAR
(VELOCIDAD MÁXIMA 5 m/s)

TIPO RE 2
CODO RECTANGULAR CON
GUÍAS

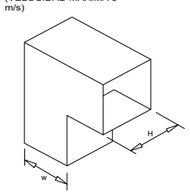



TIPO RE 3
CODO CIRCULAR CON
GUÍAS

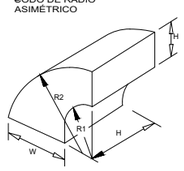



EJE DEL CONDUCTO R=3W/2

TIPO RE 4
CODO RECTANGUALR SIN
GUÍAS (VELOCIDAD MÁXIMA 5
m/s)

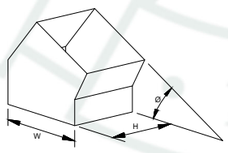



TIPO RE 5
CODO DE RADIO
ASIMÉTRICO

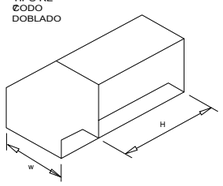



R1 =3/4 W1
R2 =R1+W2

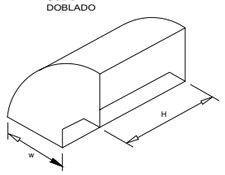
TIPO RE 6
CODO
DOBLADO



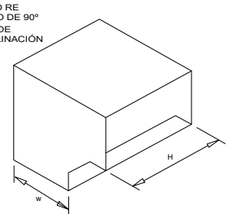

TIPO RE 7
CODO
DOBLADO




TIPO RE 8
CODO
DOBLADO




TIPO RE 9
GIRO DE 90º
CON
INCLINACIÓN




TIPO RE 10
GIRO DE 90º CON RADIO
INTERIOR

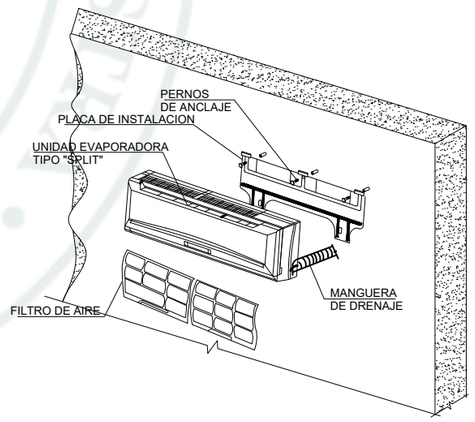



TODOS LOS GIROS DE 45º SON DE MÍNIMO 4" (100 MM)

CUBRIR Y REFORZAR LAS SUPERFICIES PLANAS COMO EN CONDUCTOS RECTOS

FUENTE:
SMACNA

DETALLE DE FIJACIÓN EN PARED PARA EQUIPOS TIPO SPLIT DECORATIVO




| | | | |
|---|---|---|---|
| Universidad Católica de Santa María<br>Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica<br>Mecánica Eléctrica y Mecatrónica | Creado por: Kiher Moran | Aprobado por: Verificador | Tipo de Documento: Plano de presentación |
| Curso - Sección / Grupo o Tesis: Sala de Operaciones | Título, Subtítulo: DETALLES DE INSTALACIÓN, DIFUSORES Y CONECTORES | Número de Referencia: PL-MEC-HVAC-009 | Rev.: A |
| | | Escala: Indicada / Form.: A3 / Fecha: 31/03/2026 | Hoja: 1 |