

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

Diseño de un sistema de acondicionamiento de aire y ventilación  
mecánica para un laboratorio farmacéutico

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Mecánico**

Presentado por:

George Ariel Morales Baque

Jorge Luis Toro Tinoco

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto está dedicado a nuestros familiares, amigos y a los docentes que han sido un pilar fundamental en nuestro desarrollo académico

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis padres por su sacrificio y apoyo incondicional, a mis amigos por la constante motivación, a la M.Sc. Andrea Boero por la retroalimentación y dedicación en cada sesión, finalmente, a los Ing. Luis Ibarra y Mónica Acurio por su guía y supervisión.

Ariel Morales Baque

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi familia y amigos por el constante apoyo a través de estos años de esfuerzo y dedicación. También a todos los docentes de Espol que formaron parte de nuestro desarrollo académico y personal dentro de la institución, en especial a la M.Sc. Andrea Boero por la gran predisposición como tutora de este proyecto.

Jorge Luis Toro

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *George Ariel Morales Baque* y *Jorge Luis Toro Tinoco* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



---

Ariel Morales Baque



---

Jorge Toro Tinoco

# EVALUADOR

.....  
**M.Sc. Andrea Boero Vera**

PROFESOR DE LA MATERIA Y TUTOR

## RESUMEN

Los procesos de manufactura en la industria farmacéutica deben realizarse bajo condiciones óptimas de temperatura, humedad y esterilidad. Estas condiciones de operación generan un aumento en los costos de producción por la gran demanda energética que requieren para su funcionamiento. Debido a esta problemática, el presente proyecto tiene como objetivo diseñar un sistema de climatización y ventilación mecánica aplicando normas y estándares de ingeniería a fin de contar con un ambiente seguro y eficiente. Este laboratorio se encuentra en la ciudad de Guayaquil y tiene un área a climatizar de aproximadamente de 6620 ft<sup>2</sup> (615 m<sup>2</sup>) en donde se producen medicamentos de tipo sólido, líquido y cremas. Para desarrollar este proyecto se establecieron zonas de mayor criticidad, en donde el control de partículas fue fundamental para evitar la posible contaminación cruzada entre los procesos productivos. Mediante el uso normativas y estándares se establecieron los valores mínimos de renovaciones y cantidad de aire fresco, esto como base para asegurar la calidad del aire interior y posteriormente determinar los caudales que permiten la presurización de los cuartos. Los equipos de climatización seleccionados para esta aplicación fueron los sistemas de flujo de refrigerante variable y las unidades manejadoras de aire, teniendo un costo total de \$ 275.007,62, esto incluye la instalación eléctrica y puesta en marcha de los equipos. Se concluye que la metodología presentada en este proyecto permite la correcta determinación de caudales que aseguran la presurización de los cuartos, así como el dimensionamiento correcto de los sistemas de ductos.

**Palabras Clave:** calidad de aire interior, presurización de cuartos, temperatura, control de partículas

## **ABSTRACT**

*Manufacturing processes in the pharmaceutical industry must be carried out under optimal temperature, humidity, and sterility conditions. These operating conditions increase production costs due to the high energy demand required for their operation. Due to this problem, the objective of this project is to design an air conditioning and mechanical ventilation system applying engineering norms and standards to have a safe and efficient environment. This laboratory is located in Guayaquil and has a conditioned area of approximately 6620 ft<sup>2</sup> (615 m<sup>2</sup>), where solid, liquid, and cream medicines are produced. Most critical areas were established where particle control is essential to avoid possible cross-contamination between production processes. By using regulations and standards, minimum renovation values and quantity of fresh air were set to ensure the interior air quality and later determine the flows that allow the pressurization of the rooms. The air conditioning equipment selected for this application was the variable refrigerant flow systems and the air handling units, with a total cost of \$ 275.007,62; this includes the electrical installation and start-up of the equipment. It is concluded that the methodology presented in this project allows the correct determination of flows that ensure the pressurization of the rooms and dimensioning of the duct systems.*

**Keywords:** *indoor air quality, room pressurization, temperature, particulate control*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	II
<i>ABSTRACT</i> .....	III
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS .....	VI
SIMBOLOGÍA .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE PLANOS.....	XII
CAPÍTULO 1 .....	1
1.    Introducción.....	1
1.1    Definición del Problema .....	1
1.2    Justificación del proyecto.....	2
1.3    Objetivos .....	2
1.3.1    Objetivo General .....	2
1.3.2    Objetivos Específicos .....	2
1.4    Marco teórico .....	3
1.4.1    Procesos de manufactura en laboratorios farmacéuticos.....	3
1.4.2    Funciones de los sistemas HVAC en laboratorios farmacéuticos .....	6
1.4.3    Normativas y estándares .....	7
1.4.4    Psicrometría .....	8
1.4.5    Sistemas de refrigeración industriales.....	9
CAPÍTULO 2 .....	11
2.    Metodología .....	11
2.1    Metodología de diseño .....	11
2.2    Requerimientos de diseño del cliente.....	13

2.3	Factores de influencia .....	13
2.4	Alternativas de solución .....	14
2.5	Criterios de diseño .....	17
2.6	Matriz de decisión .....	18
2.7	Diseño detallado.....	20
2.7.1	Renovación de aire.....	20
2.7.2	Cargas térmicas .....	21
2.7.3	Presurización de cuartos .....	21
2.7.4	Requerimiento de aire exterior.....	22
2.7.5	Ventilación mecánica.....	25
2.8	Selección de equipos y accesorios .....	27
2.9	Mantenimiento .....	28
CAPÍTULO 3 .....		29
3.	Resultados y análisis.....	29
3.1	Clasificación de zonas y movimiento de aire.....	29
3.2	Resultados de climatización .....	30
CAPÍTULO 4 .....		47
4.	Conclusiones y Recomendaciones.....	47
4.1	Conclusiones.....	47
4.2	Recomendaciones .....	49

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICES

## ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción
ARCSA	Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria
NEC	Norma Ecuatoriana de la Construcción
HS	Habitabilidad y Salud
CL	Climatización
HVAC	<i>Heating – Ventilation - Air conditioning</i>
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
UMA	Unidad manejadora de aire
UTA	Unidad de tratamiento de aire
AHU	<i>Air-handling unit</i>
HEPA	<i>High-efficiency particulate air</i>
VAV	<i>Variable air volume</i>
VRF	<i>Variable Refrigerant Flow</i>
IAQ	<i>Indoor Air Quality</i>
ACH	<i>Air changes per hour</i>
SA	<i>Supply air</i>
RA	<i>Return air</i>
OA	<i>Outdoor air</i>
EDB	<i>Entering dry-bulb temperature</i>
EWB	<i>Entering wet-bulb temperature</i>
LDB	<i>Leaving dry-bulb temperature</i>
LWB	<i>Leaving wet-bulb temperature</i>
FC	<i>Forward curve</i>
THW	<i>Thermoplastic Heat and Water-resistant wire</i>
AWG	<i>American Wire Gauge</i>

## SIMBOLOGÍA

$ft^2$	Pies cuadrados
$m^2$	Metros cuadrados
$dB_A$	Decibel para filtros tipo A
$dB_C$	Decibel para filtros tipo C
$CFM_{ACH}$	Tasa de flujo de aire debido a las renovaciones
CFM	Pies cúbicos por minuto
$V_z$	Volumen de la habitación
$ft^3$	Pies cúbicos
ACH	Cambios de aire por hora
h	hora
Q	Flujo de aire debido a infiltraciones o exfiltraciones
$C_A$	Coeficiente de flujo de aire
min	Minutos
$in^2$	Pulgadas cuadradas
in.W.C.	Pulgadas de columna de agua
$A_f$	Área total de fuga
$\Delta p_{zonas}$	Diferencial de presión entre zonas
SA	Suministro de aire
IN	Infiltraciones de aire
RA	Retorno de aire
EX	Exfiltraciones de aire
$V_{bz}$	Flujo de aire de la zona de respiración
$R_p$	Tasa de aire exterior por persona
$\frac{CFM}{ft^2}$	Pies cúbicos por minuto por persona
$P_z$	Población de la zona de ventilación
$R_a$	Tasa de aire exterior por unidad de área
$\frac{CFM}{ft^2}$	Pies cúbicos por minuto por pies cuadrados
$A_z$	Área de piso de la zona de ventilación
$V_{oz}$	Flujo de aire exterior de la zona
$E_z$	Eficiencia de la distribución del aire en la zona

$V_{ou}$	Flujo de aire exterior no corregido
D	Relación de diversión de ocupantes
$P_s$	Población del sistema
$E_v$	Eficiencia de ventilación del sistema
$V_{ot}$	Flujo de aire exterior de la zona corregido
$\Delta p_{Total}$	Presión estática del sistema de ductos
$\frac{\Delta p}{L}$	Cabezal de pérdida por unidad de longitud
$\frac{in.W.C.}{100 ft}$	Pulgadas de columna de agua por cada 100 pies
$L_{ducto}$	Longitud del ducto
$L_{eq}$	Longitud equivalente
ft	Pies
$D_h$	Diámetro hidráulico
C	Coefficiente de pérdidas por accesorios
$f_T$	Coefficiente de fricción en régimen completamente turbulento
$D_e$	Diámetro equivalente
a	Ancho del ducto
b	Altura del ducto
in	Pulgadas
OA	Aire exterior o aire fresco
EDB	Temperatura de bulbo seco a la entrada del serpentín
EWB	Temperatura de bulbo húmedo a la entrada del serpentín
LDB	Temperatura de bulbo seco a la salida del serpentín
LWB	Temperatura de bulbo húmedo a la salida del serpentín
$\Delta p$	Diferencial de presión
$C_T$	Capacidad total
$Btu$	Unidad térmica británica
$\frac{Btu}{h}$	Unidad térmica británica por hora
°F	Fahrenheit
HP	Caballos de fuerza
V	Voltaje
Hz	Hertz

A	Amperios
fpm	pies por minuto

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Proceso de manufactura de fármacos líquidos. ....	4
Figura 1.2 Proceso de manufactura de tabletas sólidas. ....	5
Figura 1.3 Proceso de manufactura de cremas. ....	6
Figura 2.1 Estrategias adicionales para el proceso de diseño. ....	11
Figura 2.2 Metodología de diseño. ....	12
Figura 2.3 Propuesta 1: Sistema VRF – UMA con extracciones localizadas. ....	15
Figura 2.4 Propuesta 2: Sistema VRF – UMA. ....	16
Figura 2.5 Propuesta 3: Sistema agua helada – UMA. ....	17
Figura 2.6 Criterios para la selección de equipos. ....	27

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Normativas y estándares. ....	7
Tabla 2.1 Requerimientos del cliente. ....	13
Tabla 2.2 Especificaciones de diseño. ....	13
Tabla 2.3 Matriz de ponderación de criterios de diseño. ....	19
Tabla 2.4 Matriz de decisión. ....	19
Tabla 3.1 Resultados para la agrupación de zona: 1 – Semisólidos. ....	30
Tabla 3.2 Resultados para la agrupación de zona: 2 – Líquidos. ....	30
Tabla 3.3 Resultados para la agrupación de zona: 3 – Cremas. ....	31
Tabla 3.4 Resultados para la agrupación de zona: 8 – Calidad. ....	31
Tabla 3.5 Resultados para la agrupación de zona: 4 – Pasillo PB. ....	32
Tabla 3.6 Resultados para la agrupación de zona: 7 – Pasillo PA. ....	32
Tabla 3.7 Resultados para la agrupación de zona: 5 – Bodega y empaque. ....	33
Tabla 3.8 Resultados para la agrupación de zona: 6 – Bodega PA. ....	33
Tabla 3.9 Resultados para la agrupación de zona: 9 – Corredor. ....	33
Tabla 3.10 Resultados para la agrupación de zona: 10 – Rack y Baño. ....	34
Tabla 3.11 Caída de presión de los sistemas de ductos. ....	35
Tabla 3.12 Resultados principales para la selección de equipos. ....	36
Tabla 3.13 Resultados principales para la selección de ventiladores. ....	37
Tabla 3.14 Resultados del sistema eléctrico. ....	38
Tabla 3.15 Plan de mantenimiento para los equipos de climatización. ....	39
Tabla 3.16 Costos del sistema de ductos. ....	41
Tabla 3.17 Costos de los equipos eléctricos. ....	42
Tabla 3.18 Costos de climatización. ....	43
Tabla 3.19 Resumen de costos. ....	45

## ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1 Clasificación de zonas y movimiento del flujo de aire, planta baja. ....	104
Plano 2 Clasificación de zonas y movimiento del flujo de aire, planta alta. ....	105
Plano 3 Diseño de los sistemas de ductos para suministro de aire, planta baja. ....	106
Plano 4 Diseño de los sistemas de ductos para suministro de aire, planta alta. ....	107
Plano 5 Diseño de los sistemas de ductos para retorno de aire, planta baja. ....	108
Plano 6 Diseño de los sistemas de ductos para retorno de aire, planta alta. ....	109
Plano 7 Diseño de los sistemas de ductos para la extracción de aire, planta baja. .	110
Plano 8 Diseño de los sistemas de ductos para la extracción de aire, planta alta. ..	111
Plano 9 Diagrama unifilar para los equipos monofásicos. ....	112
Plano 10 Diagrama unifilar para los equipos trifásicos. ....	113

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Definición del Problema

La industria farmacéutica tiene altos costos asociados a la producción de su mercancía, por lo que el desarrollo de un sistema eficiente de enfriamiento y ventilación mecánica tiene un impacto directo en la reducción del consumo de energía, reduciendo así los costos de producción y operación sin comprometer la calidad y confiabilidad del sistema.

La regulación de la temperatura en las áreas de producción no es el único factor vital en la elaboración de fármacos, el control de la humedad, presiones e inocuidad de sus productos están vinculadas entre sí para poder cumplir con las normas y estándares tanto nacionales como internacionales. La Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria (ARCSA, 2007) provee un listado con los laboratorios farmacéuticos certificados a nivel nacional que cumplen con las normas, estándares y buenas prácticas de manufactura, sin embargo, dicha aprobación no implica que estos laboratorios cuenten con un nivel de eficiencia energética adecuado.

El nivel de eficiencia en laboratorios farmacéuticos se consigue mediante el cumplimiento de la norma ISO50001 asociada a los Sistemas de Gestión de Medio ambiente y Energía, que implica una mejora continua en equipos, procesos e infraestructura.

Por los motivos antes mencionados una empresa que cuenta con un laboratorio farmacéutico ubicado en la ciudad de Guayaquil, exige el cumplimiento de normas y estándares tanto nacionales como internacionales para la correcta fabricación de medicamentos, por lo que se requiere diseñar un sistema de acondicionamiento de aire y ventilación mecánica que sea energéticamente eficiente para reducir los costos de fabricación. El proyecto debe ser diseñado para un área aproximadamente de 6620 ft<sup>2</sup> (615 m<sup>2</sup>) y

zonas de producción que se encargan de elaborar medicamentos a base de componentes sólidos, semisólidos, líquidos o cremas.

## **1.2 Justificación del proyecto**

El cumplimiento de normas nacionales descritos por la ARCSA, permite la obtención de los permisos requeridos para la correcta producción de medicamentos, la misma que se basa fundamentalmente en un preciso control de temperatura, humedad, presiones, flujos de aire e inocuidad de productos farmacéuticos. Por lo que un sistema de refrigeración y ventilación mecánica eficiente y correctamente dimensionado tendrá como resultado la elaboración de un producto de calidad y competitivo dentro del mercado nacional. Además, este proyecto puede ser escalable y aplicable a otros edificios con similares características, como puede ser otros laboratorios farmacéuticos, laboratorios clínicos, centros de imágenes y diagnóstico, consultorios, entre otros.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar un sistema de acondicionamiento de aire y ventilación mecánica para un laboratorio farmacéutico mediante la aplicación de normas y estándares de ingeniería a fin de contar con un ambiente seguro y eficiente.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Determinar los parámetros y condiciones críticas del sistema mediante el levantamiento de información en cuanto al proceso de manufactura y normativas vigentes y aplicables.
2. Elaborar el diseño del sistema de acondicionamiento de aire y ventilación mecánica para cada una de las áreas del laboratorio farmacéutico.
3. Evaluar la factibilidad técnica y económica del proyecto a través de la estimación de costos y criterios de evaluación de proyectos.

## **1.4 Marco teórico**

El acondicionamiento de aire es un procedimiento que se encarga de regular y tratar el aire circulante en el ambiente de diferentes establecimientos como: laboratorios farmacéuticos, supermercados, edificios, hospitales, entre otros. Estos establecimientos requieren la remoción del calor sensible y latente que se genera a través de la transferencia de calor por conducción, convección y radiación para lograr un ambiente controlado en factores como temperatura, humedad y contaminación. Estos parámetros se regulan de acuerdo con el uso que se está haciendo en estas áreas, creando así confort térmico para los ocupantes de estas zonas y cumpliendo a su vez con los estándares de diseño establecidos por la *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)*.

Por otro lado, para garantizar la calidad del aire interior de cada área, se debe tener un control riguroso de las partículas en el aire, las infiltraciones y el movimiento del aire. Las infiltraciones son todas las fugas de aire hacia adentro de la envolvente del edificio como consecuencia de las diferencias de presión o las diferencias de densidades del aire (ASHRAE, 2007).

A continuación, se presenta un resumen de los procesos de manufactura para productos farmacéuticos, así como las funciones de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado o HVAC, por sus siglas en inglés. También se incluye las normativas y estándares fundamentales para este tipo de establecimientos. Adicionalmente se desglosan definiciones relacionadas a psicrometría, que son la base para el diseño de sistemas de climatización, finalmente se muestra los sistemas convencionales de climatización industrial.

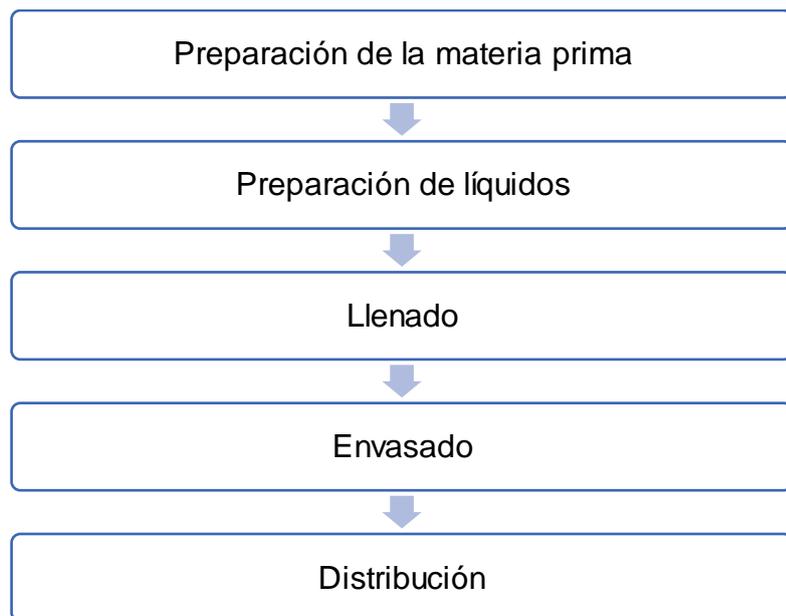
### **1.4.1 Procesos de manufactura en laboratorios farmacéuticos**

El proceso de manufactura de los productos farmacéuticos cuenta con un riguroso sistema de inspección debido a los altos estándares requeridos para su aprobación, por lo que es estrictamente necesario sistematizar su producción adecuadamente para cumplir dichos estándares. Existen

diferentes tipos de medicamentos tales como: tabletas sólidas, cápsulas de gelatina, pastillas efervescentes, medicamentos líquidos, aerosol, cremas, vacunas, entre otros. Cada uno de estos productos cuentan con un proceso de manufactura diferente debido a que su forma, composición, tamaño y manera de consumo es distinta (Gad, 2008).

### **Proceso de manufactura de fármacos líquidos**

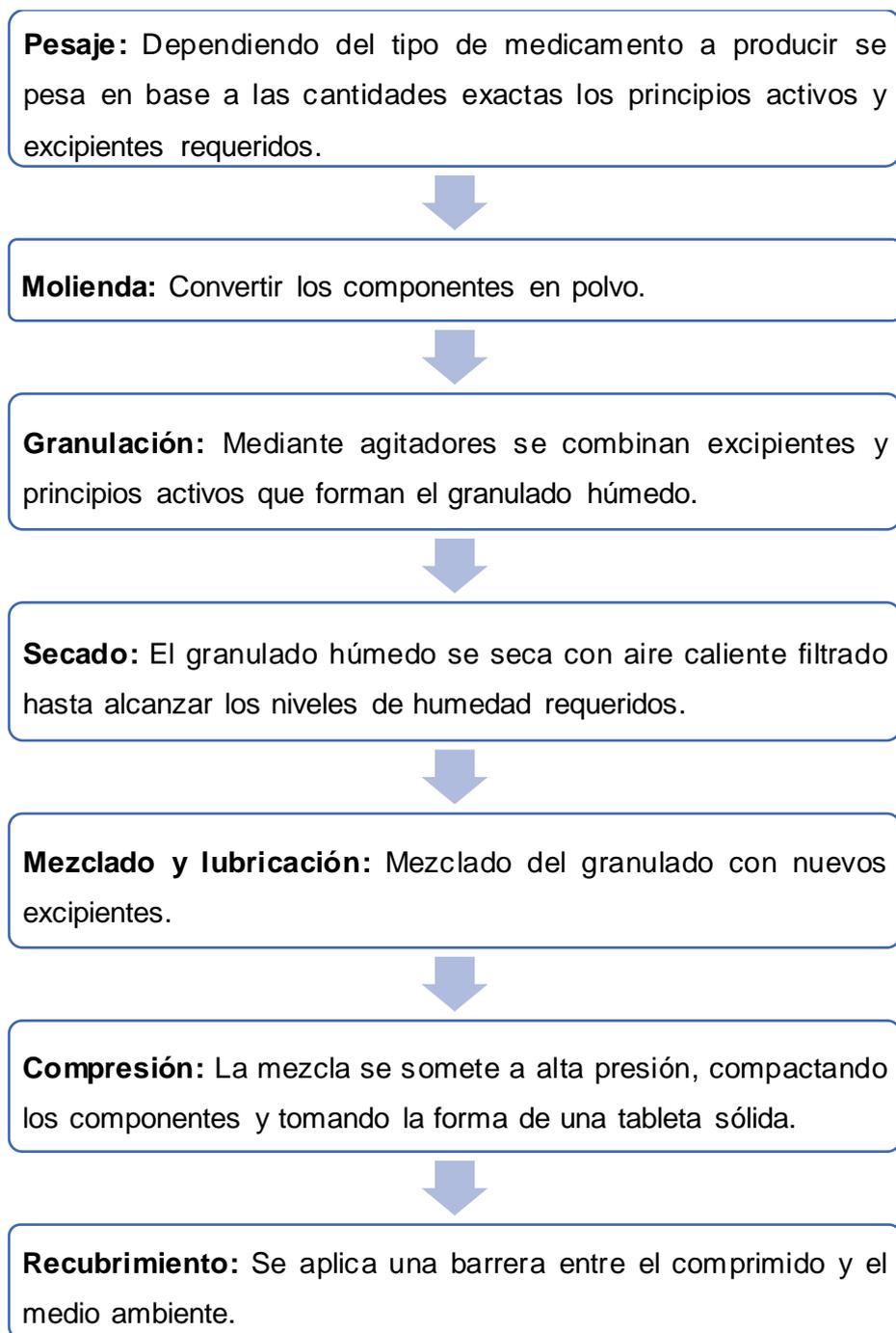
La fabricación de los fármacos líquidos se basa en soluciones o emulsiones que contienen uno o más ingredientes activos. Por ello su proceso de manufactura se basa en la planificación de materia prima requerida, preparación de líquidos, llenado, envasado y distribución. Tal como se indica en la Figura 1.1 (Gad, 2008, pág. 318).



**Figura 1.1 Proceso de manufactura de fármacos líquidos [Gad, 2008]**

### **Proceso de manufactura de tabletas sólidas**

Un proceso de fabricación típico para un producto de tableta sólida se lleva a cabo mediante el proceso mostrado en la Figura 1.2, estos son: pesaje, molienda, granulación, secado, mezcla y lubricación, compresión, y recubrimiento (Cinfa, 2015).



**Figura 1.2 Proceso de manufactura de tabletas sólidas [Cinfa, 2015]**

### **Proceso de manufactura de cremas**

La elaboración de cremas se realiza con un fármaco base, adicionalmente se pueden añadir componentes como agentes levigantes, estabilizantes y conservantes. La adición de estos componentes se realiza a través del proceso de levigación o fusión. (Gad, 2008, pág. 276)

Para la creación de las cremas el fundamento es la fusión de los componentes sólidos en una base líquida, este proceso se lleva a cabo en cuatro pasos mostrados en la Figura 1.3 (Silverson, s.f.).

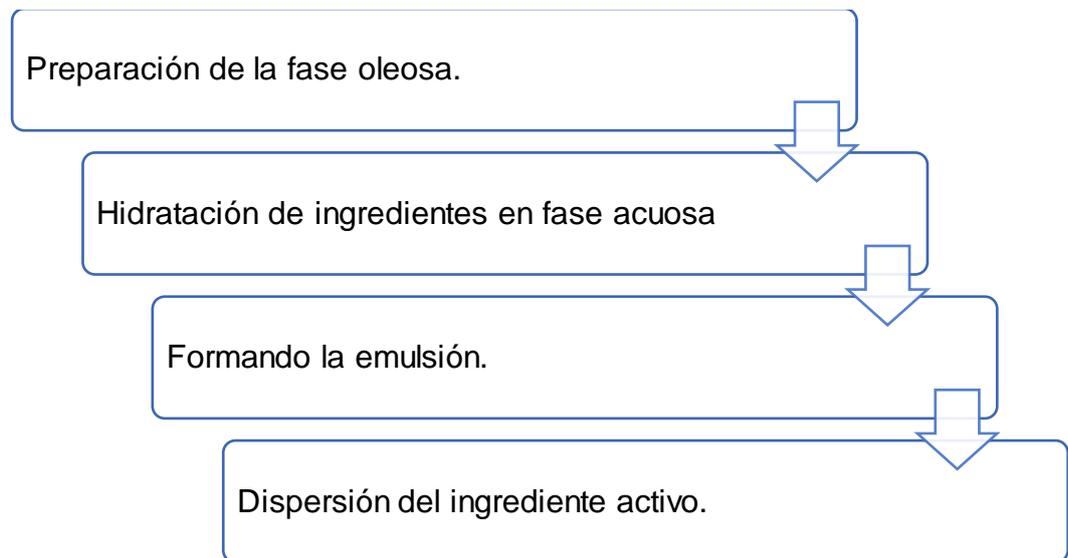


Figura 1.3 Proceso de manufactura de cremas [Silverson, s.f.]

Una vez finalizado estos cuatro pasos, el resultado es una crema con un fármaco activo como base.

#### 1.4.2 Funciones de los sistemas HVAC en laboratorios farmacéuticos

Los sistemas HVAC desempeñan un papel fundamental en el control de contaminantes en áreas asépticas, esto se logra ajustando los niveles de presión de las diferentes áreas y de la envolvente del edificio, con el fin de evitar la infiltración de aire no acondicionado junto con partículas contaminantes de otros ambientes y/o eliminar gases nocivos u olores generados en los procesos de fabricación que son perjudiciales para la salud; también regulando las tasas de renovación de aire para purificar el entorno (ASHRAE, 2007).

Por otro lado, para asegurar la calidad de los productos farmacéuticos, es necesario controlar estrictamente la temperatura y humedad relativa de las

diferentes zonas del laboratorio, manteniendo la comodidad del personal y evitando el desarrollo de bacterias en sus puestos de trabajo. Además, es necesario mantener el sistema de aire acondicionado libre de partículas contaminantes para evitar la contaminación cruzada y reducir las fuentes donde las bacterias pueden acumularse y producir moho o contaminantes.

### 1.4.3 Normativas y estándares

Las normativas, regulaciones y estándares que se aplican a este proyecto se resumen a continuación en la Tabla 1.1.

**Tabla 1.1 Normativas y estándares [Elaboración propia]**

<b>Organismo</b>	<b>Tipo de documento</b>	<b>Título</b>
ARCSA	Norma – regulación	Normativa control y funcionamiento establecimientos farmacéuticos
Norma Ecuatoriana de la Construcción	Norma – regulación	Norma Ecuatoriana de la Construcción – Habitabilidad y Salud – Climatización
ASHRAE	<i>Standard 52.2 – 2017</i>	<i>Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size</i>
ASHRAE	<i>Standard 55 – 2010</i>	<i>Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy</i>
ASHRAE	<i>Standard 62.1 – 2019</i>	<i>Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality</i>
ASHRAE	<i>Standard 90.1 – 2010</i>	<i>Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings</i>
ASHRAE	<i>Standard 170 – 2017</i>	<i>Ventilation of Health Care Facilities</i>
ASHRAE	<i>Handbook</i>	<i>HVAC Systems and Equipment</i>
ASHRAE	<i>Handbook</i>	<i>Fundamentals</i>
ASHRAE	<i>Handbook</i>	<i>Fundamental HVAC Systems.</i>
ASHRAE	<i>Handbook</i>	<i>Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Applications</i>
ASHRAE	Manual	Manual de diseño de calefacción, ventilación y aire acondicionado para hospitales y clínicas

<b>Organismo</b>	<b>Tipo de documento</b>	<b>Título</b>
ISO	<i>Standard ISO 14644-1:2015</i>	<i>Cleanrooms and associated controlled environments — Part 1: Classification of air cleanliness by particle concentration</i>

#### **1.4.4 Psicrometría**

##### **Carta psicrométrica**

El diagrama psicrométrico es un gráfico que muestra la relación entre la temperatura, la humedad y la energía contenida en el aire, basado en el hecho de que el aire es una mezcla entre aire seco y vapor de agua; y que para una temperatura y humedad específica le corresponde una determinada cantidad de energía. Este proporciona información sobre las propiedades del aire necesarias para la correcta selección de los equipos de calefacción y refrigeración.

##### **Temperatura de bulbo seco**

La temperatura de bulbo seco representa la temperatura del aire registrada por un termómetro convencional en un ambiente en condiciones normales.

##### **Temperatura de bulbo húmedo**

Esta temperatura también se mide con un termómetro convencional y representa la temperatura de equilibrio alcanzada por el bulbo, cubierto por una mecha humedecida en agua, después de estar en contacto con una corriente de aire que evapora el agua.

##### **Temperatura de rocío**

La temperatura de rocío es la temperatura a la que se produce la condensación del vapor presente en la humedad del aire cuando este se ha enfriado.

### **Humedad relativa**

La humedad relativa se representa como la cantidad en gramos de vapor de agua por kilogramo de aire seco. En el diagrama psicrométrico, la línea de saturación indica los puntos donde la humedad relativa es del 100%, lo que significa que en estos puntos de la curva el aire tiene la cantidad máxima de vapor de agua a una determinada temperatura.

## **1.4.5 Sistemas de refrigeración industriales**

### **Sistemas de expansión directa**

Los sistemas de expansión directa se caracterizan por tener un solo circuito a través del cual fluye el refrigerante hacia los evaporadores, donde tiene lugar el intercambio de calor con el aire a climatizar.

Un equipo de expansión directa con mejores capacidades que los equipos convencionales es la unidad exterior con flujo de refrigerante variable o VRF, por sus siglas en inglés, dentro de sus ventajas está su bajo consumo energético, esto se debe a este equipo cuenta con tecnología *inverter*, lo que permite regular la velocidad del compresor a través de un variador de frecuencia que se encarga de ajustar la frecuencia, voltaje y corriente a fin de mantener constante el confort de la zona. Otra ventaja es la facilidad de mantenimiento debido a su configuración modular, lo que significa que sus componentes se pueden reemplazar fácilmente, también permite conectarse con varias unidades interiores, esto lo hace un sistema expandible o con escalabilidad (ASHRAE, 2016).

### **Sistemas de expansión indirecta**

Los sistemas de expansión indirecta se caracterizan por tener dos circuitos, estos son: primario y secundario. A través del circuito primario fluye el refrigerante para enfriar un fluido intermedio, generalmente agua debido a que posee mayor capacidad de absorción de calor que el aire. En el circuito secundario se distribuye el fluido intermedio para aprovechar su energía en los evaporadores y acondicionar el aire. Este tipo de sistemas es comercialmente conocido como plantas de agua helada.

### **Sistemas todo aire**

Es uno de los métodos de suministro único más comunes que puede ser adaptado para acondicionar un ambiente compuesto por varias zonas con diferentes cargas térmicas. El procedimiento para lograr esto es controlando la tasa de suministro de aire, o la diferencia de temperaturas entre el aire suministrado y la temperatura de la zona. Por tal motivo, por cada zona se emplea un termostato para cambiar el flujo volumétrico de aire en el espacio, la temperatura del aire suministrado o ambas. Los sistemas mayormente utilizados son: recalentamiento, volumen de aire variable (VAV), *bypass* y multizona. (ASHRAE, 2007)

### **Sistemas hidrónicos**

Este sistema tiene la particularidad de utilizar agua en fase líquida, así como en vapor, también es apropiado para climatizar múltiples zonas debido a su alto rendimiento al operar con cargas sensibles altas y variables de calentamiento y/o enfriamiento. Estos sistemas tienen la ventaja de ser económicos debido a su bajo costo de operación e instalación, también son energéticamente eficientes, sin embargo, tienen un pobre control de humedad y ventilación. (ASHRAE, 2007)

# CAPÍTULO 2

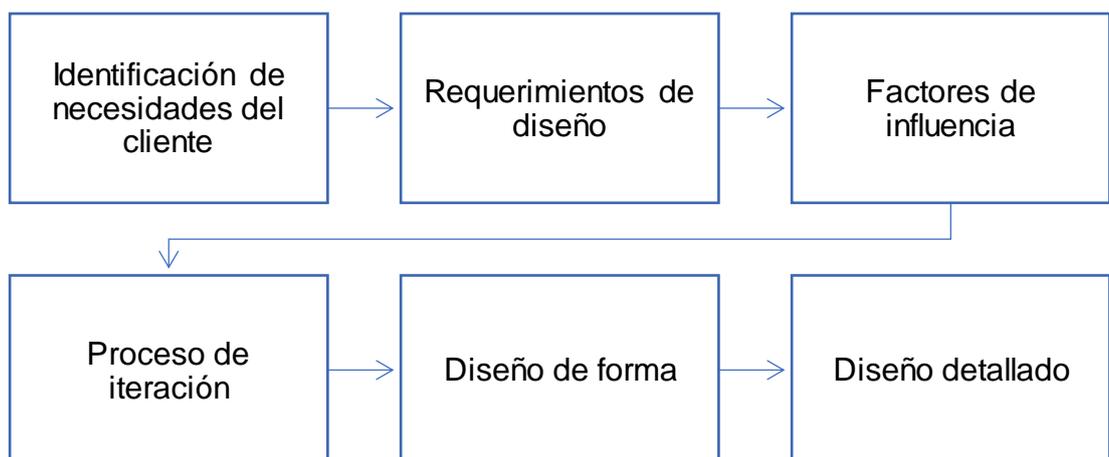
## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Metodología de diseño

La metodología es un conjunto de procesos, métodos, estrategias que se pueden sintetizar en el siguiente orden:

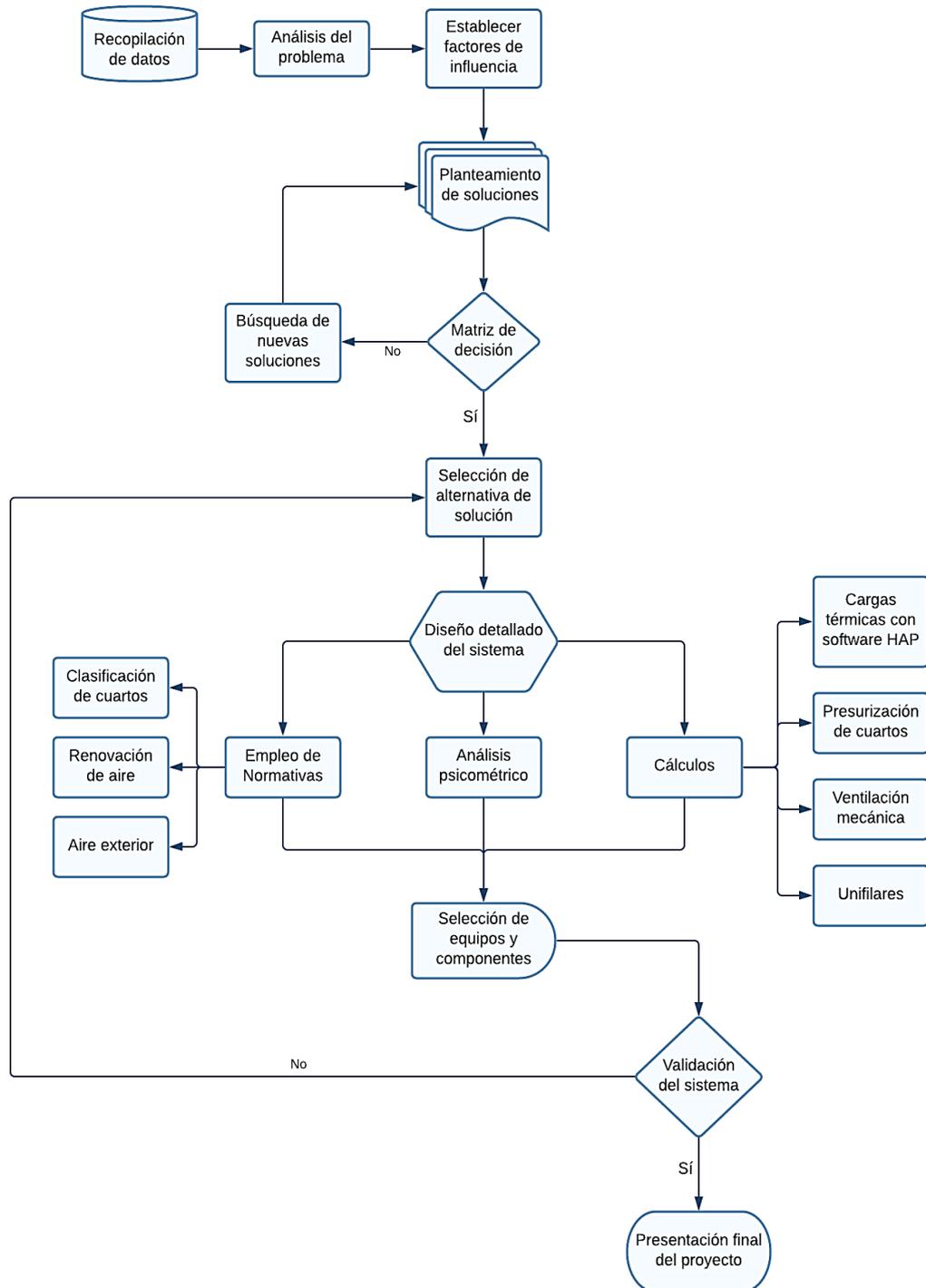
1. Formulación del problema
2. Análisis del problema
3. Búsqueda de soluciones
4. Elegir la mejor alternativa
5. Redacción de solución

A pesar de que el procedimiento mencionado anteriormente llega a ser útil en el proceso de diseño, también es importante establecer otras estrategias o métodos adicionales dependiendo en qué etapa de diseño nos encontremos. Estas tácticas adicionales, mostradas en la Figura 2.1, nos brindan información mucho más detallada del problema a resolver, estrategias como:



**Figura 2.1 Estrategias adicionales para el proceso de diseño [Elaboración propia]**

Por estos motivos para este proyecto se elaboró un proceso de diseño específico que se muestra a continuación en la Figura 2.2.



**Figura 2.2 Metodología de diseño [Elaboración propia]**

## 2.2 Requerimientos de diseño del cliente

Para la fase de recopilación de datos se consideró los parámetros y especificaciones, para el diseño de acondicionamiento de aire y ventilación mecánica del laboratorio farmacéutico, proporcionadas por el cliente.

Esta información fue sintetizada en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1 Requerimientos del cliente [Elaboración propia]**

Requerimiento	Detalle
Acondicionamiento de diferentes áreas	Las áreas abarcan 6620 ft <sup>2</sup> (aproximadamente 615 m <sup>2</sup> )
Niveles de presión	Tabla A.1
Temperatura de trabajo	68 a 73,4 °F
Humedad relativa	40 a 60 %
Control de partículas	Acorde a normativa
Unidades o equipos interiores	Individuales por área de trabajo
Agrupaciones de la zona	Acorde al diseñador y criticidad de las zonas
Costo de equipos e instalación dentro del presupuesto disponible	\$ 180.000,00
Ampliación del sistema	Capacidad de expandir el sistema para proyectos futuros

## 2.3 Factores de influencia

En este punto, se estableció en la Tabla 2.2 los factores de influencia que se consideraron para el desarrollo de las posibles soluciones, teniendo en cuenta a estos como un punto de partida para los criterios de diseño.

**Tabla 2.2 Especificaciones de diseño [Elaboración propia]**

Variabes	Descripción
Espacio disponible para el sistema, componentes y equipos	¿La estructura está dimensionada a fin de que se pueda instalar y dar mantenimiento a los equipos y componentes del sistema?
Actividad de los ocupantes	Realizan varias funciones, por tanto, se considera como trabajo medio.
Número de ocupantes	Cada área estará ocupada por 2 personas.
Tipo de sistema	A criterio del diseñador.
Orientación del edificio	Noroeste.

<b>Variables</b>	<b>Descripción</b>
Estructura exterior del edificio	Paredes de grosor estándar, fabricadas con bloque de 7 in de espesor, el grosor del enlucido, empastado y capas de pintura suman 0,8 in aproximadamente. Se considera 8,5 ft de altura de cielo raso en ambas planta y 6,5 ft entre tumbado y losa. Las paredes exteriores contienen ventanas de vidrio simple.
Condiciones de los alrededores	¿Sombras por árboles, edificios, reflectividad de cristales de edificios cercanos?
Equipos	A criterio del diseñador. Unidades autónomas, empaquetadas, centrales, unidades terminales, unidades divididas, sistemas VAV, VRF, terminales de inducción, terminales <i>fan coils</i> .
Consumo energético	Consumo energético apropiado para la aplicación y dimensión del diseño.
Mantenimiento	El sistema seleccionado debe diseñarse de tal manera que proporcione fácil acceso al personal de mantenimiento, y ser económica.
Costo operacional	El sistema seleccionado debe tener bajo costo operativo.
Rentabilidad	Ventajas de la inversión, como la capacidad de permitir futuras ampliaciones.
Condiciones ambientales	Temperatura, humedad, calidad del aire exterior.
Purificación del aire	Control de olores, acción bactericida.
Niveles de ruido	Según lo establecido por la normativa: 55 $dB_A$ y 75 $dB_C$ (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2019).
Disponibilidad de equipos	Equipos y componentes disponibles en el mercado nacional.
Refrigerante	Bajo impacto al medio ambiente.

## 2.4 Alternativas de solución

A continuación se presentan las distintas soluciones, estas fueron diseñadas considerando los factores de influencia. Además, en todas las propuestas se incluyeron cajas de volumen de aire variable (VAV) para satisfacer las diferentes demandas de flujo de aire y mejorar el rendimiento del sistema.

### Propuesta 1: Sistema VRF – UMA con extracciones localizadas

El diseño de forma que se muestra en la Figura 2.3 consiste de un sistema de expansión directa con flujo de refrigerante variable (VRF) para las unidades exteriores. Estas condensadoras se conectan a las unidades interiores y unidades manejadoras de aire (UMA) de acuerdo con los requerimientos de calidad de aire interior en las diferentes áreas de trabajo.

La unidad de tratamiento propuesta no dispone de una compuerta para el aire de escape. Mientras que en determinadas habitaciones existen extracciones de aire.

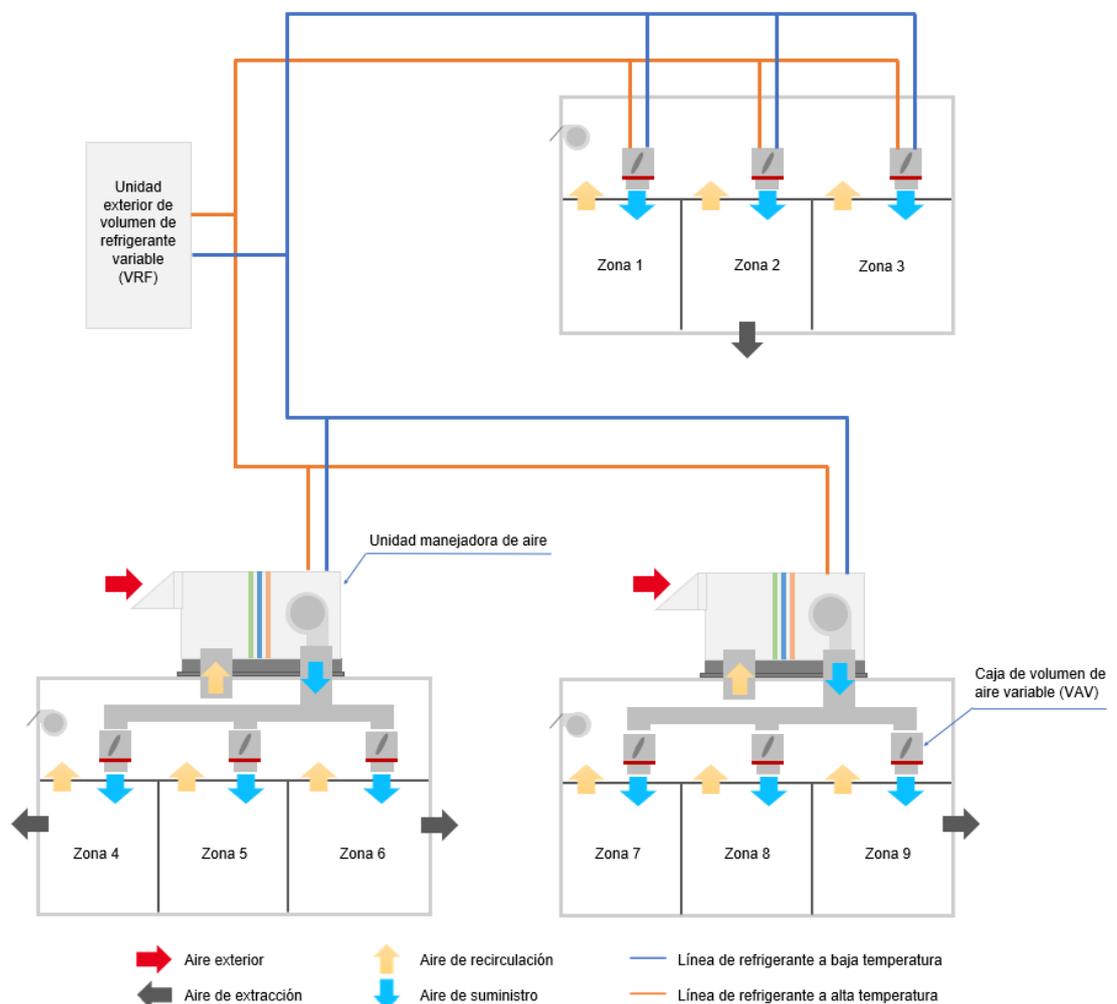


Figura 2.3 Propuesta 1: Sistema VRF – UMA con extracciones localizadas

[Elaboración propia]

## Propuesta 2: Sistema VRF – UMA

El diseño de forma mostrado en la Figura 2.4 consiste en un sistema de expansión directa con flujo de refrigerante variable (VRF) para las unidades exteriores que se conectan con las unidades interiores y con las UMA, según los requerimientos de renovación de aire en las diferentes salas del laboratorio.

La unidad de tratamiento propuesta tiene la capacidad de permitir que escape el aire, por lo que este sistema no requiere de extracciones en las habitaciones.

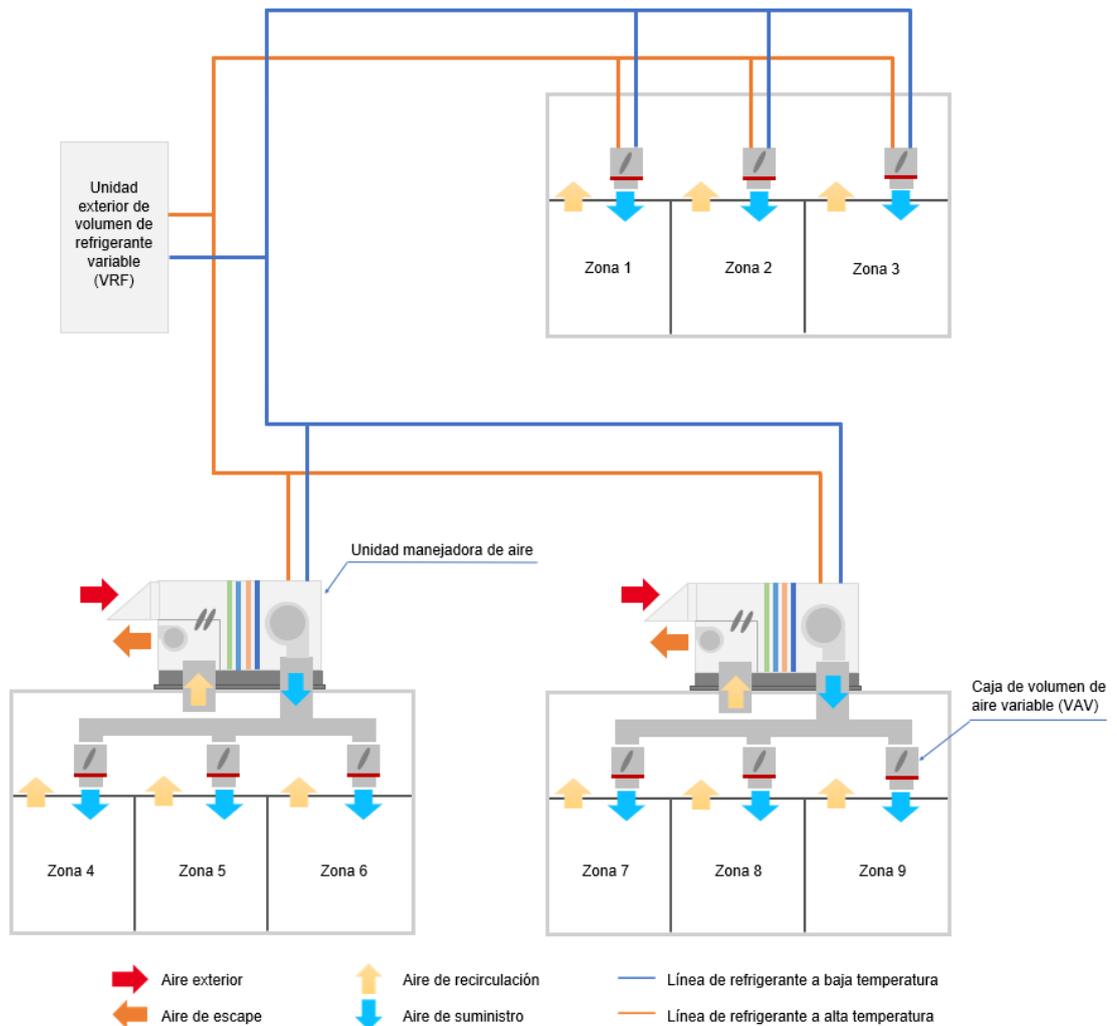


Figura 2.4 Propuesta 2: Sistema VRF – UMA [Elaboración propia]

### Propuesta 3: Sistema agua helada – UMA

El diseño de forma que se presenta en la Figura 2.5 consiste en un sistema de expansión indirecta o planta de agua helada para el intercambio de energía con el aire inyectado por las unidades interiores y el aire que circula a través de las UMA.

El volumen de control en la unidad de tratamiento de aire es igual a la Propuesta 2: Sistema VRF – UMA.

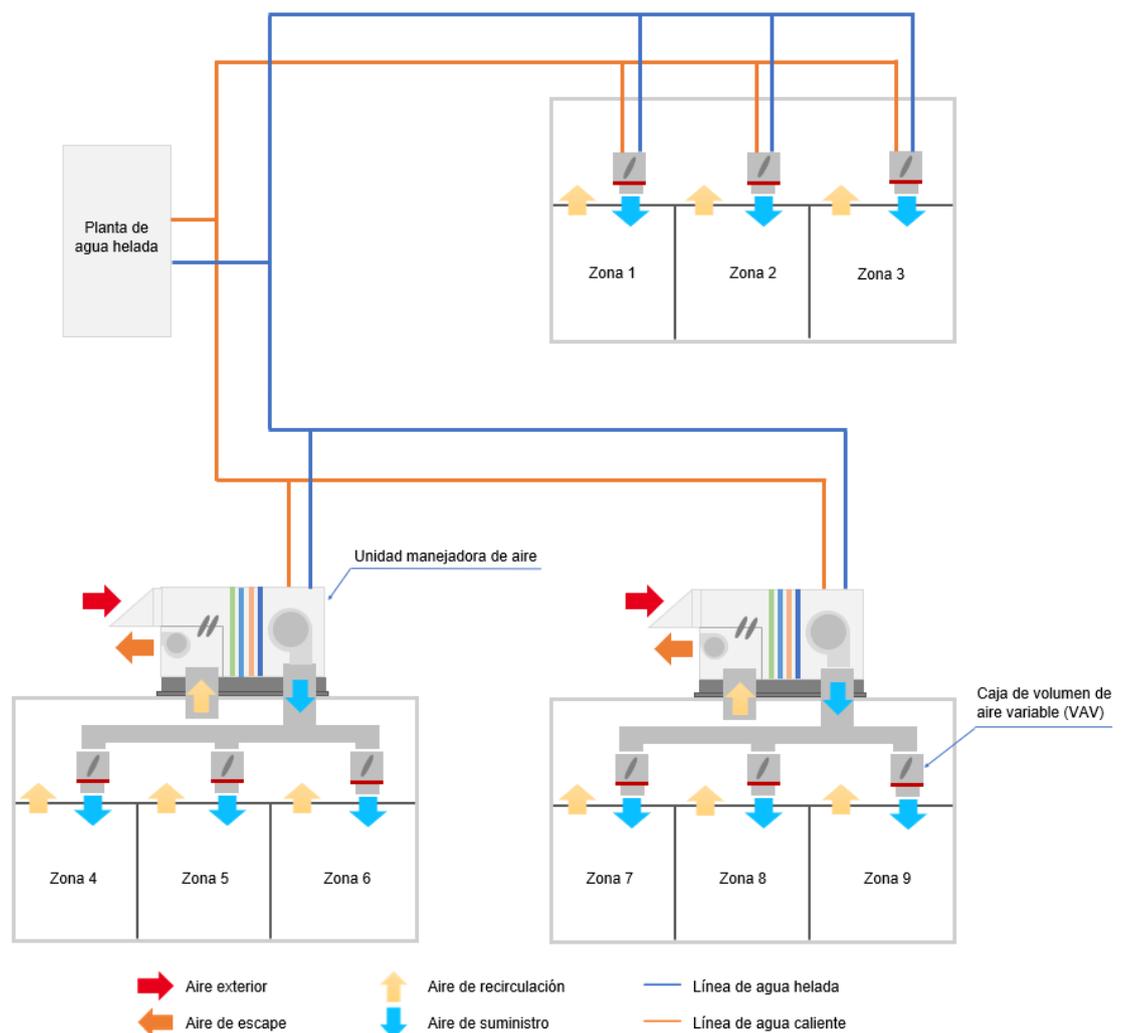


Figura 2.5 Propuesta 3: Sistema agua helada – UMA [Elaboración propia]

## 2.5 Criterios de diseño

Los criterios de diseño son los factores más influyentes al momento de tomar una decisión con respecto a la propuesta de solución. Para ello se establecen

los criterios más relevantes que permiten analizar el sistema más adecuado en función de las especificaciones de diseño.

1. **Consumo energético:** la cantidad de energía eléctrica requerida para la operación del sistema es un factor que se busca disminuir en cualquier proceso industrial, este permite reducir costos por lo que seleccionar un sistema que cumpla con las necesidades y además que consuma la menor cantidad de energía posible es una prioridad para este proyecto.
2. **Control de parámetros térmicos:** un laboratorio farmacéutico requiere un control preciso de factores como, temperatura, humedad y calidad de aire, el poder establecer rangos óptimos para estos indicadores se vuelve indispensable para el sistema que se propone.
3. **Espacio a ocupar por el sistema:** esto es la cantidad de espacio disponible para poder instalar todos los componentes del sistema, desde los componentes externos hasta la ductería y accesorios que llega a cada zona.
4. **Costo por mantenimiento:** este criterio se refiere a que tan económico es realizar los trabajos de mantenimiento de todo el sistema, así como la disponibilidad de repuestos en el mercado nacional.
5. **Costo del sistema:** se refiere al costo asociado a la adquisición de todos los equipos, componentes y accesorios del sistema.

## 2.6 Matriz de decisión

La matriz de decisión nos permite establecer una ponderación cuantitativa de las especificaciones de diseño más relevantes, mediante un análisis objetivo se elaboró la Tabla 2.3 Matriz de ponderación de criterios de diseño que nos permitió establecer un valor adecuado para dichos criterios con la finalidad de elaborar la Tabla 2.4 Matriz de decisión y comparar las distintas alternativas de solución mediante un valor numérico.

**Tabla 2.3 Matriz de ponderación de criterios de diseño [Elaboración propia]**

<b>Criterios de diseño</b>	Consumo energético	Control de parámetros térmicos	Espacio a ocupar por el sistema	Costo de mantenimiento	Costo del sistema	Total	Peso relativo (%)
Consumo energético	5	5	7	8	7	32	25,6
Control de parámetros térmicos	5	5	8	8	7	33	26,4
Espacio a ocupar por el sistema	3	2	5	6	6	22	17,6
Costo de mantenimiento	2	2	4	5	2	16	12,0
Costo del sistema	3	3	4	8	5	23	18,4
Total						125	100

Como se observa en la Tabla 2.3, el factor de diseño más relevante fue el control de los parámetros térmicos con un peso relativo de 26,4, ya que como se trata de un laboratorio farmacéutico se requiere de una buena gestión y control de las variables termodinámicas. El consumo energético fue tan importante como el criterio anterior, alcanzando un peso relativo de 25,6. El costo del sistema y el espacio a ocupar por el sistema lograron un peso relativo intermedio, 18,4 y 17,6 respectivamente. Por otro lado, el costo de mantenimiento fue el criterio menos influyente con un peso relativo de 12,0.

**Tabla 2.4 Matriz de decisión [Elaboración propia]**

<b>Criterios de diseño</b>	<b>Propuesta 1 VRF – UMA y extracciones localizadas</b>	<b>Propuesta 2 VRF – UMA</b>	<b>Propuesta 3 Sistema agua helada – UMA</b>
Consumo energético (25,6 %)	8	7	9
Control de parámetros térmicos (26,4 %)	8	8	9
Espacio a ocupar por el sistema (17,6 %)	9	8	7
Costo de mantenimiento (12,0 %)	8	6	6
Costo del sistema (18,4 %)	9	7	6
Total	8,36	7,32	7,74

De acuerdo con la Tabla 2.4 la mejor alternativa de diseño fue la propuesta del sistema VRF – UMA y extracciones localizadas. Su desempeño en todos los criterios de diseño establecidos superó a las otras alternativas de solución propuestas, por ejemplo, el consumo energético es menor en sistemas VRF con UMA sin sistema de extracción. (GOVERNMENT OF DUBAI, 2015)

Por otro lado, el espacio a ocupar y el costo de mantenimiento son parámetros relacionados a las dimensiones y componentes de los equipos, debido a esto la propuesta 1 destacó en ambos parámetros al ser un equipo menos complejo.

## **2.7 Diseño detallado**

En esta sección de la metodología se estableció aspectos como:

- Clasificación de cuartos: las habitaciones se clasifican en función del número máximo de partículas que pueden contener. Este valor depende de la actividad que se desarrolle en la habitación, así como del nivel de esterilidad requerido. La norma encargada de clasificar el nivel de criticidad es la ISO-14644-1. (ISO, 2015)
- Movimiento de aire: la trayectoria del flujo de aire es un diagrama que permite identificar el movimiento que realiza el aire dentro de las zonas críticas.
- Renovación de aire
- Cargas térmicas
- Presurización de cuartos: esto incluye cálculos de infiltraciones, exfiltraciones para ello se emplearon manuales de ASHRAE.
- Aire exterior
- Ventilación mecánica
- Selección de equipos

### **2.7.1 Renovación de aire**

Los cambios de aire por hora (ACH por sus siglas en inglés) es un criterio que relaciona el número de veces por hora que se suministra un

determinado volumen de aire. Las actividades hospitalarias y farmacéuticas requieren altos valores de renovación del aire, asegurando así un ambiente adecuado para las áreas asépticas. El flujo de aire requerido por los cambios de renovación de aire se calcula mediante la ecuación (2.1).

$$CFM_{ACH} = \frac{V_z \cdot ACH}{60} \quad (2.1)$$

$$CFM_{ACH} = \frac{V_z \cdot ACH}{60}$$

$CFM_{ACH}$ : Tasa de flujo de aire debido a las renovaciones (*cfm*)

$V_z$ : Volumen de la habitación ( $ft^3$ )

$ACH$ : Renovación de aire por hora ( $\frac{1}{h}$ )

### 2.7.2 Cargas térmicas

Para la obtención de cargas térmicas se utilizó la prueba gratis de 90 días del software *Hourly Analysis Program* (HAP). Este programa genera un reporte en donde presenta los resultados de carga sensible, latente, y humedad de la zona analizada. Así como el caudal de aire requerido para remover estas cargas y alcanzar las condiciones de diseño establecidas en la Tabla 2.1 Requerimientos del cliente. El procedimiento se detalla en el apéndice B.

### 2.7.3 Presurización de cuartos

La presurización de cuartos se realiza controlando la cantidad de suministro y retorno de aire en una habitación. Esto depende de si el cuarto a presurizar tiene un diferencial de presión positivo o negativo con respecto a las habitaciones de sus alrededores. Por medio de la ecuación (2.2) se calculan las infiltraciones o exfiltraciones que existen a través de puertas, ventanas u otros orificios.

$$Q = C_A \cdot A \cdot \sqrt{\Delta p} \quad (2.2)$$

$Q$ : Flujo de aire debido a infiltraciones o exfiltraciones (*cfm*)

$C_A$ : Coeficiente de flujo de aire ( $\frac{ft^3}{min \cdot ft^2 \cdot in.W.C.^{0.5}}$ )

$A_f$ : Área total de fuga ( $ft^2$ )

$\Delta p_{zonas}$ : Diferencial de presión entre zonas (*in. W.C.*)

El coeficiente para el flujo de aire usado fue de  $\left(2609,36 \frac{ft^3}{min ft^2 in.W.C.^{0.5}}\right)$  según lo establece ASHRAE. (ASHRAE, 2017)

Para obtener un diferencial de presión positivo, el suministro de aire debe ser mayor que el aire de retorno de la misma zona, esto genera un flujo de aire desde la zona hacia los alrededores, denominado exfiltración. Por otro lado, para obtener un diferencial de presión negativo, es necesario retornar más aire que el suministrado, esto genera que se infiltre el aire de zonas contiguas.

### **Balance de flujo volumétrico en una sala presurizada**

La ecuación (2.3) se obtiene mediante un análisis de flujo volumétrico de una habitación. Permitiendo de esta manera poder cuantificar los valores que se requieren de suministro y retorno de aire en cada habitación según su diferencial de presión.

$$SA + IN = RA + EX \quad (2.3)$$

$SA$ : Suministro de aire (*cfm*)

$IN$ : Infiltraciones de aire (*cfm*)

$RA$ : Retorno de aire (*cfm*)

$EX$ : Exfiltraciones de aire (*cfm*)

#### **2.7.4 Requerimiento de aire exterior**

Las tasas mínimas de ventilación para el aire exterior se calculan utilizando las ecuaciones (2.4) a (2.10) establecidas en el manual de usuario del estándar 62.1 de ASHRAE. (ASHRAE, 2007)

Además, se consideró una tasa de 42,38 cfm por persona para la calidad de aire interior, como recomendaciones debido a la situación actual de COVID. (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2021)

### Flujo de aire exterior de la zona de respiración

El caudal mínimo de aire exterior para la zona de respiración tiene en cuenta las tasas de aire exterior por persona y área de la zona. Esta magnitud se determina para cada cuarto ya que, dependiendo de la categoría de ocupación, los requerimientos de aire exterior son diferentes.

$$V_{bz} = R_p \cdot P_z + R_a \cdot A_z \quad (2.4)$$

$V_{bz}$ : Flujo de aire de la zona de respiración (*cfm*)

$R_p$ : Tasa de aire exterior por persona ( $\frac{cfm}{persona}$ )

$P_z$ : Población de la zona de ventilación (*persona*)

$R_a$ : Tasa de aire exterior por unidad de área ( $\frac{cfm}{ft^2}$ )

$A_z$ : Área de piso de la zona de ventilación ( $ft^2$ )

Los valores para  $R_p$ ,  $R_a$  se determinan con la Tabla 6-1 del estándar 62.1.

### Flujo de aire exterior de la zona

La distribución del aire a la zona de respiración está relacionada con el caudal del suministro de aire exterior y su eficiencia de distribución, siendo este último una cantidad positiva menor o igual a la unidad, lo que significa que una mala distribución del aire exterior implica que se requiera una mayor cantidad de aire exterior a la zona de respiración.

$$V_{oz} = \frac{V_{bz}}{E_z} \quad (2.5)$$

$V_{oz}$ : Flujo de aire exterior de la zona (*cfm*)

$V_{bz}$ : Flujo de aire de la zona de respiración (*cfm*)

$E_z$ : Eficiencia de la distribución del aire en la zona (adimensional)

La Tabla 6-4 del estándar 62.1 proporciona el valor de  $E_z$ .

### Múltiple zona con recirculación

Se refiere a la climatización de varias zonas con una misma unidad de tratamiento de aire. Para determinar el flujo de aire requerido para este tipo de áreas se emplea la ecuación (2.6).

### Flujo de entrada de aire exterior sin corregir

Este caudal es una medida del aire exterior para varias zonas y está relacionado con los requisitos individuales de las habitaciones y el índice de diversidad de ocupantes.

$$V_{ou} = D \cdot \sum_{todas\ las\ zonas} R_p \cdot P_z + \sum_{todas\ las\ zonas} R_a \cdot A_z \quad (2.6)$$

$V_{ou}$ : Flujo de aire exterior no corregido (*cfm*)

$D$ : Relación de diversidad de ocupantes (adimensional)

$R_p$ : Tasa de aire exterior por persona ( $\frac{cfm}{persona}$ )

$P_z$ : Población de la zona de ventilación (*persona*)

$R_a$ : Tasa de aire exterior por unidad de área ( $\frac{cfm}{ft^2}$ )

$A_z$ : Área de piso de la zona de ventilación ( $ft^2$ )

### Relación de diversidad de ocupantes

Este parámetro relaciona el número máximo de personas esperadas en la zona de mayor ocupación con la población total. Este factor se calcula utilizando la ecuación (2.7).

$$D = \frac{P_s}{\sum_{todas\ las\ zonas} P_z} \quad (2.7)$$

$D$ : Relación de diversidad de ocupantes (adimensional)

$P_s$ : Población del sistema (*personas*)

$P_z$ : Población de la zona de ventilación (*persona*)

### Eficiencia de ventilación del sistema

Las ecuaciones (2.8) y (2.9) permiten calcular la eficiencia de ventilación del sistema según la magnitud de la relación de diversidad de los ocupantes ( $D$ ).

Para  $D < 0,60$ , se emplea la ecuación (2.8).

$$E_v = 0,88 \cdot D + 0,22 \quad (2.8)$$

$E_v$ : Eficiencia de ventilación del sistema (adimensional)

$D$ : Relación de diversidad de ocupantes (adimensional)

Para  $D \geq 0,60$ , se emplea la ecuación (2.9).

$$E_v = 0,75 \quad (2.9)$$

$E_v$ : Eficiencia de ventilación del sistema (adimensional)

### **Flujo de aire exterior de la zona corregido**

La corrección para el flujo del aire exterior de la zona se calcula mediante la ecuación (2.10). Esta magnitud indica la cantidad mínima de flujo de aire exterior que debe suministrarse al sistema.

$$V_{ot} = \frac{V_{ou}}{E_v} \quad (2.10)$$

$V_{ot}$ : Flujo de aire exterior de la zona corregido (*cfm*)

$V_{ou}$ : Flujo de aire exterior de la zona no corregido (*cfm*)

$E_v$ : Eficiencia de ventilación del sistema (adimensional)

### **2.7.5 Ventilación mecánica**

Este punto se establecieron los modelos matemáticos que rigen el dimensionamiento de ductos, estos toman como base la ecuación de Bernoulli que manifiesta que una reducción en la velocidad del fluido aumenta la presión estática. Esto, con el fin de aplicar el método de fricción equivalente a lo largo del sistema y variar la sección transversal del ducto.

El nivel de ruido es otro factor para tener en cuenta, ya que dependiendo de la aplicación se recomiendan velocidades máximas para los ductos principales y derivaciones tanto de suministro como de retorno.

### **Pérdida de presión en ductos**

La longitud y cantidad de accesorios que se encuentren en el sistema afectan la caída de presión del aire de suministro, retorno y extracción. A efectos prácticos este diferencial de presión puede calcularse con la ecuación (2.11).

$$\Delta p_{Total} = \left(\frac{\Delta p}{L}\right) \cdot \sum (L_{ducto} + L_{eq}) \quad (2.11)$$

$\Delta p_{Total}$ : Presión estática del sistema de ductos (*in. w. c.*)

$\left(\frac{\Delta p}{L}\right)$ : Cabezal de pérdida por unidad de longitud  $\left(\frac{\text{in. w. c.}}{100 \text{ ft}}\right)$

$L_{ducto}$ : Longitud del ducto (*ft*)

$L_{eq}$ : Longitud equivalente (*ft*)

### **Longitud equivalente**

La longitud equivalente relaciona el coeficiente de pérdidas menores con el coeficiente de fricción, esta medida permite asociar una magnitud de longitud para las pérdidas localizadas.

$$\frac{L_{eq}}{D_h} = \frac{C}{f_T} \quad (2.12)$$

$L_{eq}$ : Longitud equivalente (*ft*)

$D_h$ : Diámetro hidráulico (*ft*)

$C$ : Coeficiente de pérdidas por accesorios (adimensional)

$f_T$ : Coeficiente de fricción en régimen completamente turbulento. (0,028 según recomendación de Deissler) (ASHRAE, 2017, pág. 3.9)

### **Diámetro equivalente**

El dimensionamiento de ductos rectangulares, es decir, la elección del ancho y alto requiere de un proceso iterativo, debido a que la Figura E.1 establece el diámetro equivalente pero no las medidas del ducto. Por tanto, es fundamental calcular el diámetro equivalente para determinar las medidas adecuadas del ducto. Esto se realiza mediante la ecuación (2.13).

$$D_e = \frac{1,3 \cdot (a \cdot b)^{0,625}}{(a + b)^{0,25}} \quad (2.13)$$

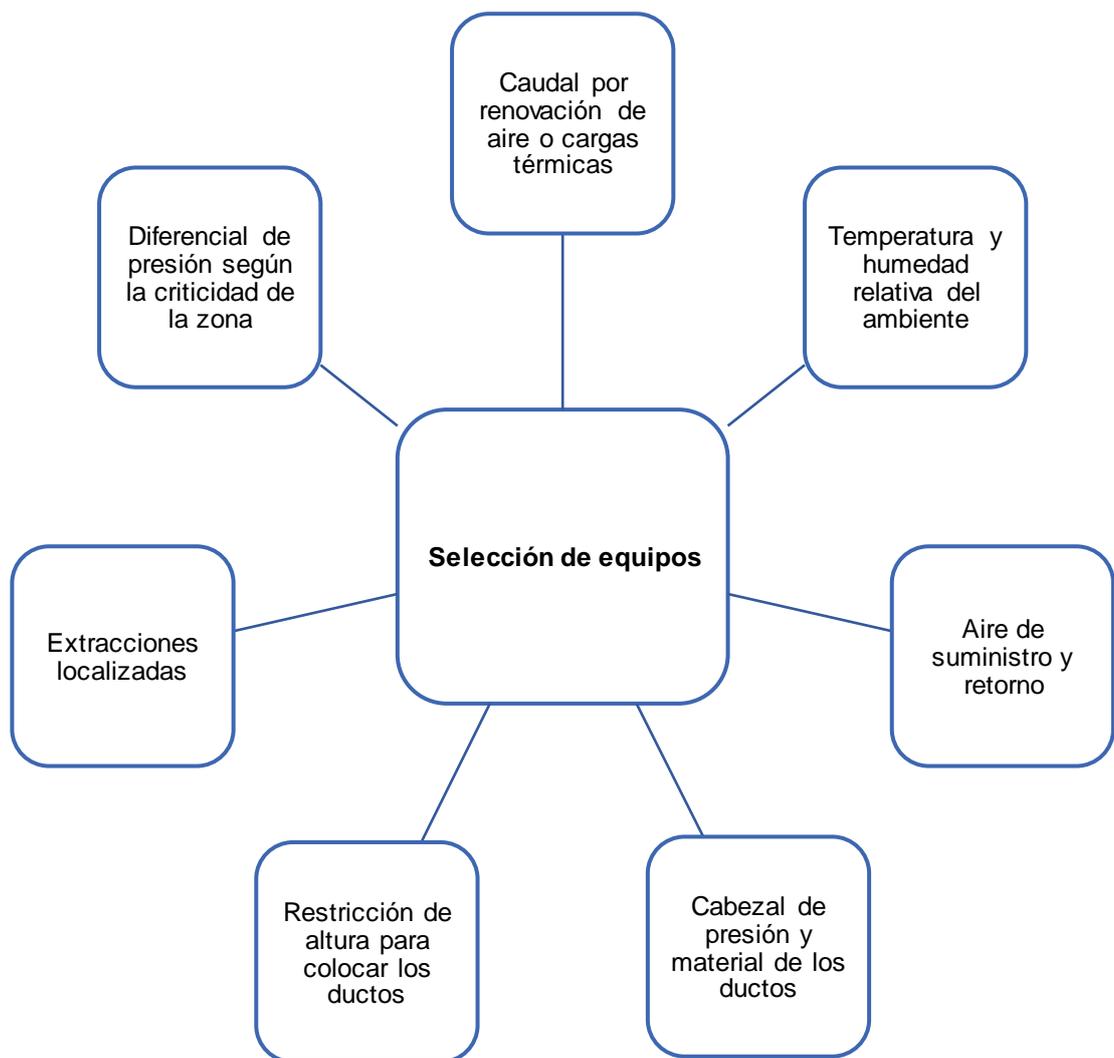
$D_e$ : Diámetro equivalente ( $ft$ )

$a$ : Ancho del ducto ( $ft$ )

$b$ : Altura del ducto ( $ft$ )

## 2.8 Selección de equipos y accesorios

Una vez realizado todos los cálculos, fue necesario especificar aspectos para cada zona. Los criterios mostrados en la Figura 2.6 nos permitieron seleccionar los equipos y accesorios para los diferentes los sistemas.



**Figura 2.6 Criterios para la selección de equipos [Elaboración propia]**

### **Conservación de flujo volumétrico en una manejadora de aire**

Con base a la alternativa de solución seleccionada, la unidad de tratamiento de aire seleccionada debe cumplir con el balance de flujo volumétrico de la ecuación (2.14).

$$SA = RA + OA \quad (2.14)$$

*SA*: Suministro de aire (*cfm*)

*RA*: Retorno de aire (*cfm*)

*OA*: Aire exterior (*cfm*)

## **2.9 Mantenimiento**

Para la planificación del programa de mantenimiento se recopiló las recomendaciones brindadas por los fabricantes para los equipos principales, y se sintetizó las actividades esenciales considerando los intervalos de tiempo y criticidad de fallas.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presentan los resultados tanto de diseño como de selección de equipos y componentes. La selección se realizó en función de parámetros como, suministro de aire, renovación de aire, aire fresco, entre otros.

### 3.1 Clasificación de zonas y movimiento de aire

En el Plano 1 y Plano 2 se presenta la clasificación de zonas según su nivel de criticidad, así como la dirección del flujo de aire en el interior del laboratorio. La clasificación ISO 6 indica un alto nivel de control de partículas y contaminantes, las zonas de control de calidad y laboratorio de microbiología fueron asignadas en esta categoría debido a que en estas áreas se realizan controles de inocuidad en los productos manufacturados por el laboratorio. Las áreas de elaboración de productos, tales como: preparación de líquidos, sólidos, semisólidos y cremas forman parte de la clasificación ISO 7. (ISO, 2015)

La clasificación ISO 8 fue designada a las zonas aledañas a las habitaciones de producción, es decir las zonas de tránsito como esclusas y pasillos. Finalmente, en la categoría ISO 9 se encuentran sectores de almacenamiento o empaque de productos donde el control de partículas no debe ser tan estricto como en el área de producción.

Por otra parte, las flechas en el Plano 1 y Plano 2 indican el movimiento de aire con el fin de evitar que partículas contaminantes ingresen a las áreas de producción designadas con presión positiva, o en su defecto, servir de sumidero en cuartos con presión negativa en los que se requiere que las partículas del ambiente no contaminen zonas contiguas.

### 3.2 Resultados de climatización

En esta sección se presentan los 10 grupos que contienen las 46 áreas a climatizar, estas fueron clasificadas de la siguiente manera:

- 4 de criticidad alta: con zonas de clasificación ISO 6 e ISO 7.
- 2 de criticidad media: con zonas de clasificación ISO 8.
- 4 de criticidad baja: con zonas de clasificación ISO 9.

Es importante mencionar que todos los resultados obtenidos, independientemente de la criticidad, nos permiten alcanzar las condiciones de temperatura (68 °F) y humedad (60 %) para este tipo de edificación.

A continuación, se presentan los resultados para las zonas de criticidad alta:

**Tabla 3.1 Resultados para la agrupación de zona: 1 – Semisólidos**  
[Elaboración propia]

Zona	Clasificación ISO	Renovación de aire (1/h)	Suministro de aire (cfm)	Retorno de aire (cfm)	Extracción de aire (cfm)	Aire Exterior (cfm)
14	8	20	100	0	100	300
15	7	25	830	590	40	
34	7	25	270	0	100	
35	8	20	100	410	0	
<b>Total</b>			<b>1300</b>	<b>1000</b>	<b>240</b>	<b>300</b>

**Tabla 3.2 Resultados para la agrupación de zona: 2 – Líquidos** [Elaboración propia]

Zona	Clasificación ISO	Renovación de aire (1/h)	Suministro de aire (cfm)	Retorno de aire (cfm)	Extracción de aire (cfm)	Aire Exterior (cfm)
17	7	30	1070	870	0	400
18	8	20	100	0	100	
36	8	20	100	100	0	
37	7	30	690	590	0	
<b>Total</b>			<b>1960</b>	<b>1560</b>	<b>100</b>	<b>400</b>

**Tabla 3.3 Resultados para la agrupación de zona: 3 – Cremas [Elaboración propia]**

Zona	Clasificación ISO	Renovación de aire (1/h)	Suministro de aire (cfm)	Retorno de aire (cfm)	Extracción de aire (cfm)	Aire Exterior (cfm)
9	8	20	200	100	0	300
10	8	20	100	100	0	
11	7	25	390	290	0	
12	8	20	100	100	0	
13	7	25	370	270	0	
<b>Total</b>			<b>1160</b>	<b>860</b>	<b>0</b>	<b>300</b>

**Tabla 3.4 Resultados para la agrupación de zona: 8 – Calidad [Elaboración propia]**

Zona	Clasificación ISO	Renovación de aire (1/h)	Suministro de aire (cfm)	Retorno de aire (cfm)	Extracción de aire (cfm)	Aire Exterior (cfm)
31	6	30	600	640	320	350
32	8	20	200	100	0	
38	6	30	100	0	180	
39	6	30	450	260	0	
<b>Total</b>			<b>1350</b>	<b>1000</b>	<b>500</b>	<b>350</b>

En los resultados de la Tabla 3.1 a la Tabla 3.4 se pueden apreciar valores altos de renovación de aire que oscilan entre 20 y 30 cambios por hora, motivo por el cual el suministro de aire debido a las renovaciones superó significativamente al caudal por las cargas térmicas. Estos cálculos y comparaciones se detallan en el apéndice D.

De la Tabla 3.1 a la Tabla 3.3 se puede apreciar que estas áreas están presurizadas positivamente porque el aire de suministro fue mayor que la suma del aire de retorno y extracción. Por otro lado, los valores de la Tabla 3.4 son contrarios a los anteriores, debido a que estos cuartos están presurizados negativamente. De ahí que la extracción de aire en este grupo sea mayor ya que actúan como sumidero.

A continuación, se presentan los resultados para las zonas de criticidad media:

**Tabla 3.5 Resultados para la agrupación de zona: 4 – Pasillo PB [Elaboración propia]**

Zona	Clasificación ISO	Renovación de aire (1/h)	Suministro de aire (cfm)	Retorno de aire (cfm)	Extracción de aire (cfm)	Aire Exterior (cfm)
6	8	15	1250	1450	600	500
16	8	15	330	430	0	
19	8	15	200	100	0	
20	8	15	200	100	0	
1	8	20	300	0	100	
2	8	20	300	0	100	
<b>Total</b>			<b>2580</b>	<b>2080</b>	<b>800</b>	

**Tabla 3.6 Resultados para la agrupación de zona: 7 – Pasillo PA [Elaboración propia]**

Zona	Clasificación ISO	Renovación de aire (1/h)	Suministro de aire (cfm)	Retorno de aire (cfm)	Extracción de aire (cfm)	Aire Exterior (cfm)
29	8	15	800	710	0	1000
40	8	20	300	100	0	
41	8	20	350	80	0	
42	8	15	100	270	0	
43	8	20	100	300	0	
44	8	15	280	180	0	
45	8	15	510	100	0	
33	8	15	150	250	0	
25	8	15	300	100	0	
26	8	15	300	100	0	
<b>Total</b>			<b>3190</b>	<b>2190</b>	<b>0</b>	

De la Tabla 3.5 se puede inferir que el pasillo de la planta baja fue el encargado de recoger el aire exfiltrado de las zonas adyacentes, a diferencia del pasillo de la planta alta, Tabla 3.6, que no fue diseñado para cumplir esta función ya que el área designada fue el control de calidad.

A continuación, se presentan los resultados para las zonas de criticidad baja:

**Tabla 3.7 Resultados para la agrupación de zona: 5 – Bodega y empaque  
[Elaboración propia]**

Zona	Clasificación ISO	Renovación de aire (1/h)	Suministro de aire (cfm)	Retorno de aire (cfm)	Extracción de aire (cfm)	Aire Exterior (cfm)
7	9	15	1500	1050	450	900
8	9	15	1400	1400	0	
3	8	15	150	0	150	
4	8	15	150	0	150	
5	8	15	150	0	150	
<b>Total</b>			<b>3350</b>	<b>2450</b>	<b>900</b>	<b>900</b>

**Tabla 3.8 Resultados para la agrupación de zona: 6 – Bodega PA [Elaboración propia]**

Zona	Clasificación ISO	Renovación de aire (1/h)	Suministro de aire (cfm)	Retorno de aire (cfm)	Extracción de aire (cfm)	Aire Exterior (cfm)
30	9	15	3500	2790	710	600
46	9	15	600	710	0	
<b>Total</b>			<b>4100</b>	<b>3500</b>	<b>710</b>	<b>600</b>

**Tabla 3.9 Resultados para la agrupación de zona: 9 – Corredor [Elaboración propia]**

Zona	Clasificación ISO	Renovación de aire (1/h)	Suministro de aire (cfm)	Retorno de aire (cfm)	Extracción de aire (cfm)	Aire Exterior (cfm)
27	9	20	100	0	100	200
22	9	15	500	400	300	
24	9	15	200	200	0	
<b>Total</b>			<b>800</b>	<b>600</b>	<b>400</b>	<b>200</b>

**Tabla 3.10 Resultados para la agrupación de zona: 10 – Rack y Baño**  
**[Elaboración propia]**

Zona	Clasificación ISO	Renovación de aire (1/h)	Suministro de aire (cfm)	Retorno de aire (cfm)	Extracción de aire (cfm)	Aire Exterior (cfm)
23	9	15	200	200	0	0
21	9	15	0	0	50	0
<b>Total</b>			<b>200</b>	<b>200</b>	<b>50</b>	<b>0</b>

Las zonas de la tabla Tabla 3.7 a la Tabla 3.10 no tuvieron requerimientos de diferencial de presión, por este motivo el caudal de extracción se lo emplea para satisfacer los requerimientos de aire fresco mínimos que las zonas necesitan.

Además, al ser áreas de la envolvente del laboratorio la incidencia solar aumenta las cargas térmicas provocando que el aire de suministro se determine en función a este parámetro. A diferencia de los casos anteriores donde el caudal de suministro predominante fue debido a las renovaciones de aire.

### **Diseño de sistema de ductos**

El apéndice E detalla los cálculos correspondientes al dimensionamiento de ductos tanto de suministro, retorno y extracción. Así mismo, en los Plano 3 y 4 se muestran los sistemas de ductos de suministro de la planta baja y alta. Mientras que los Plano 5 y 6 contienen el sistema de ductos para el retorno. Finalmente, en los Plano 7 y 8 se muestra el sistema de ductos para la extracción de aire.

Es importante mencionar que, para los cálculos de la Tabla 3.11 sobre los dimensionamientos de ductos, se asumió un cabezal de presión de 0,15 in.W.C. / 100 ft, ya que al interceptar los caudales de suministro y retorno de este laboratorio y con el rango de velocidades recomendadas por Carrier en la Tabla E.1, la Figura E.1 indica un cabezal de presión alrededor de 0,15 in.W.C. / 100 ft. (Carrier Air Conditioning Co., s.f.)

**Tabla 3.11 Caída de presión de los sistemas de ductos [Elaboración propia]**

Grupo	Suministro		Retorno		Pérdida total ( <i>in. W. C.</i> )
	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud por ductos ( <i>ft</i> )	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud por ductos ( <i>ft</i> )	
1	90,45	105,48	64,23	69,55	0,49
2	102,89	110,56	50,97	76,44	0,51
3	21,75	61,36	21,75	61,35	0,25
4	181,43	172,57	50,26	81,69	0,73
5	222,91	158,56	12,57	56,27	0,68
6	214,53	200,72	39,67	13,58	0,70
7	239,71	208,83	117,98	141,96	1,06
8	56,81	62,70	30,61	56,10	0,31
9	35,99	107,09	13,17	45,93	0,30
E1 <sup>1</sup>	-	-	55,26	66,27	0,18
E2 <sup>2</sup>	-	-	27,25	48,56	0,11
E3 <sup>3</sup>	-	-	20,65	35,93	0,08
E4 <sup>4</sup>	-	-	24,4	21,98	0,07

La Tabla 3.11 muestra valores altos para la longitud equivalente, lo que significa que las pérdidas por accesorios fueron muy elevadas. Sin embargo, es necesario aclarar que estas pérdidas pueden variar si se calculan con el respectivo coeficiente de pérdidas por accesorios proporcionado por fabricantes.

Por otro lado, se puede observar del Plano 3 al Plano 6 que los grupos 4 y 7 fueron los de mayor recorrido y cantidad accesorios, tanto en suministro y retorno, por lo que en la Tabla 3.11 se puede apreciar que fueron los de mayores pérdidas totales.

<sup>1</sup> E1 Sistema de extracción 1

<sup>2</sup> E2 Sistema de extracción 2

<sup>3</sup> E3 Sistema de extracción 3

<sup>4</sup> E4 Sistema de extracción 4

Aunque los grupos 5 y 6, que tienen mayor superficie y caudal, no igualaron las pérdidas de los grupos 4 y 7 porque distribuyen de mejor manera el aire. Esto no implica que estos últimos grupos estén diseñados incorrectamente, solo que al conectar con varias zonas se requiere de mayor recorrido y cambios de dirección, provocando así el aumento de accesorios como codos y reducciones, lo que incide en el incremento de las pérdidas de presión. Los resultados de la caída de presión fueron fundamentales para la selección de los ventiladores de los diferentes sistemas.

### Selección de equipos

**Tabla 3.12 Resultados principales para la selección de equipos [Elaboración propia]**

Grupo	$\Delta P$ ( <i>in. W. C.</i> )	SA (CFM)	OA (CFM)	EDB (°F)	EWB (°F)	LDB (°F)	LWB (°F)	$C_T$ $\left(\frac{Btu}{h}\right)$
1	0,50	2210	1700	76,17	66,06	53,31	52,57	54000
2	0,51	3332	2652	75,65	65,49	54,84	54,19	68000
3	0,25	1972	1462	76,75	66,61	54,90	54,26	43000
4	0,72	4386	3536	75,43	65,28	54,23	53,45	92000
5	0,66	6970	5950	74,50	64,29	54,66	53,92	136000
6	0,70	5695	4165	76,95	66,81	54,97	54,18	136000
7	1,06	5423	3723	77,85	67,71	54,88	54,12	136000
8	0,31	2295	1700	76,75	66,63	53,62	52,84	54000
E/AC <sup>5</sup>	-	400	-	-	-	-	-	12000
E/FC <sup>6</sup>	-	800	-	-	-	-	-	24000

<sup>5</sup> E/AC Equipo convencional tipo *split*

<sup>6</sup> E/FC Equipo *fan coil*

**Tabla 3.13 Resultados principales para la selección de ventiladores**  
**[Elaboración propia]**

<b>Grupo</b>	$\Delta P$ ( <i>in. W. C.</i> )	<i>SA</i> ( <i>CFM</i> )	<b>Tipo de aspas</b>	<b>Potencia</b> ( <i>HP</i> )	<b>Voltaje</b> ( <i>V</i> )	<b>Frecuencia</b> ( <i>Hz</i> )	<b>Fase</b>
1	0,50	3910	FC <sup>7</sup>	3,00	220	60	3
2	0,51	5984	FC	3,00	220	60	3
3	0,25	3434	FC	2,00	220	60	3
4	0,72	7922	FC	4,00	220	60	3
5	0,66	12920	FC	4,00	220	62	3
6	0,70	9860	FC	4,00	220	61	3
7	1,06	9146	FC	6,00	220	60	3
8	0,31	3995	FC	2,00	220	60	3
E1	0,18	1700	FC	1,00	220	60	3
E2	0,11	240	FC	0,25	220	60	3
E3	0,08	600	FC	0,25	220	60	3
E4	0,07	1160	FC	0,50	220	60	3

Para aplicaciones farmacéuticas es fundamental que cada proceso cuente con una unidad manejadora de aire independiente, de esta manera aseguraremos que no exista contaminación cruzada entre los distintos procesos de producción que existen en el laboratorio.

De la tabla Tabla C.1 a la Tabla C.10 se puede apreciar que se estableció la cantidad mínima de aire exterior a suministrar por cada cuarto, sin embargo, la medida óptima de aire fresco una vez agrupada las habitaciones se obtuvo aplicando el método de zonas múltiples propuesto por ASHRAE. (ASHRAE, 2019)

Este criterio de diseño conlleva un gran beneficio en términos de ahorro energético, ya que un equipo que necesita tratar una mayor cantidad de aire fresco consume más energía eléctrica porque debe bajar la temperatura del aire exterior, así como su nivel de humedad.

---

<sup>7</sup> FC *Forward curve*

La Tabla 3.12 muestra los valores que determinan las características correctas de las unidades de climatización. Se puede observar que estas cantidades no coinciden con las del apartado 3.2 porque se obtuvieron mediante un proceso psicrométrico.

Por otro lado, se seleccionó un *split* convencional de 12,000 Btu/h porque el área de rack opera durante todas las horas del día, así mismo se seleccionó una unidad *fan coil* de 24,000 Btu/h debido a que no se requieren controles estrictos en las oficinas ya que se encuentra fuera de las zonas críticas.

### Diagramas unifilares

En los Plano 9 y 10 se muestra el esquema eléctrico para los equipos de climatización. Como se aprecia, las unidades monofásicas van conectadas al cuadro de control con sus respectivos interruptores. De igual manera se observa que las conexiones trifásicas requieren de un mayor control de las sobrecargas, para lo cual se utilizan diferentes dispositivos eléctricos como fusibles, contactores trifásicos, relés térmicos tripolares, entre otros, para proteger los componentes de los equipos.

**Tabla 3.14 Resultados del sistema eléctrico [Elaboración propia]**

Número de circuito	Fase	Potencia ( $\frac{Btu}{h}$ )	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Interruptores	Calibre AWG No.
Grupo 1	Monofásico	52000	220	80	2x80	4
Grupo 2	Monofásico	64000	220	98	2x100	2
Grupo 3	Monofásico	44000	220	67	2x80	4
Grupo 4	Trifásico	90000	440	69	3x80	4
Grupo 5	Trifásico	126000	440	97	3x100	2
Grupo 6	Trifásico	132000	440	100	3x100	2
Grupo 7	Trifásico	130000	440	100	3x100	2
Grupo 8	Monofásico	54000	220	83	2x100	2

Como se observa en la Tabla 3.14 los equipos de climatización que cuentan con conexión trifásica fueron los que superaron los 90000 Btu/h, mientras que los equipos de menor potencia se conectaron de manera monofásica. Esto

también se relaciona con la cantidad de amperaje de los equipos, siendo los de mayor potencia los que necesitan mayor corriente y por lo tanto un calibre de cable menor.

### Plan de mantenimiento

La Tabla 3.15 presenta un plan de mantenimiento básico para los componentes principales de los equipos de climatización .

**Tabla 3.15 Plan de mantenimiento para los equipos de climatización  
[Elaboración propia]**

Detalle	Mensual	Trimestral	Semestral	Anual
Inspección de conexión eléctrica en los motores de ventiladores	X			
Inspección de contactores	X			
Inspección y limpieza de cableado eléctrico				X
Revisión de evaporadores y condensadores			X	
Limpieza de los intercambiadores de calor			X	
Revisión válvulas de expansión			X	
Revisión de sensores (presión, temperatura, humedad, etc.)		X		
Verificación de la presión de operación en los compresores		X		
Revisión de la alineación, ruido y vibraciones en los motores de las condensadoras		X		
Revisión de la alineación, ruido y vibraciones en los motores de los ventiladores	X			
Comprobación de fugas en las tuberías de refrigerante		X		
Cambios de filtros de aire	X			
Revisión de niveles correctos de refrigerante	X			
Revisión de niveles correctos de aceite en los compresores	X			

Detalle	Mensual	Trimestral	Semestral	Anual
Cambio de filtros de aire	X			
Revisión del motor del ventilador	X			
Ajuste de la tensión de la banda del ventilador		X		
Inspección de corrosión en la carcasa				X
Revisión de fugas de aire en los ductos				X

La Tabla 3.15 se enfoca en los equipos principales de los sistemas de climatización, con el fin de evitar aumentos en el consumo de energía debido a un componente en mal estado o que no disponga de condiciones adecuadas de funcionamiento, esto puede ser debido a niveles bajos de aceite o refrigerantes.

### **Análisis de criterios LEED aplicados al proyecto**

Este proyecto tuvo en consideración reducir el consumo eléctrico debido a los equipos de climatización. Para este propósito se aplicó el método de zonas múltiples de ASHRAE y así optimizar la cantidad de aire fresco a tratar por los equipos de climatización, esto representó una medida de eficiencia energética, al mismo tiempo que se aseguraba la calidad de aire interior.

Además, se tomaron en consideración las velocidades recomendadas por Carrier para el sistema de ductos a fin de tener bajos niveles de ruido y mejorar la productividad de los ocupantes.

Los criterios mencionados se tienen en cuenta para la certificación LEED, sin embargo, para su obtención no basta con un correcto diseño del sistema de climatización, ya que la certificación engloba un trabajo multidisciplinario.

### **Análisis económico**

A continuación, de la Tabla 3.16 a la Tabla 3.18 se presentan los costos asociados al sistema de ductos, sistema eléctrico y equipos de climatización respectivamente.

**Tabla 3.16 Costos del sistema de ductos [Elaboración propia]**

<b>Ductería</b>			
<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Costo</b>
Compra e instalación de ductos con lámina de acero galvanizado de 0,24 in, aislado	9039 lbm	\$ 2,95	\$ 26.705,99
Compra e instalación de ductos con lámina de acero galvanizado de 0,24in, sin aislar	882 lbm	\$ 2,45	\$ 2.164,54
Ducto flexible aislado, diámetro de 6 in	120 ft	\$ 1,96	\$ 71,54
Ducto flexible aislado, diámetro de 8 in	70 ft	\$ 2,11	\$ 44,73
Ducto flexible aislado, diámetro de 10 in	220 ft	\$ 2,37	\$ 158,79
Ducto flexible aislado, diámetro de 12 in	10 ft	\$ 2,56	\$ 7,67
Ducto flexible aislado, diámetro de 14 in	10 ft	\$ 2,76	\$ 8,29
Difusores cuadrados (6 in x 6 in) de 4 vías	39 und.	\$ 17,88	\$ 697,48
Difusores cuadrados (8 in x 8 in) de 4 vías	10 und.	\$ 21,93	\$ 219,30
Difusores cuadrados (10 in x 10 in) de 4 vías	29 und.	\$ 25,98	\$ 753,42
Difusores cuadrados (12 in x 12 in) de 4 vías	4 und.	\$ 30,03	\$ 120,12
Rejillas de retorno cuadradas (6 in x 6 in) de 4 vías	17 und.	\$ 14,99	\$ 254,83
Rejillas de retorno cuadradas (8 in x 8 in) de 4 vías	5 und.	\$ 20,94	\$ 104,70
Rejillas de retorno cuadradas (10 in x 10 in) de 4 vías	6 und.	\$ 26,88	\$ 161,28

<b>Ductería</b>			
<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Costo</b>
Rejillas de retorno cuadradas (12 in x 12 in) de 4 vías	4 und.	\$ 32,82	\$ 131,28
Rejillas de retorno cuadradas (14 in x 14 in) de 4 vías	8 und.	\$ 38,76	\$ 310,08
Rejillas de retorno cuadradas (16 in x 16 in) de 4 vías	1 und.	\$ 44,71	\$ 44,71
Rejillas de retorno cuadradas (18 in x 18 in) de 4 vías	1 und.	\$ 50,65	\$ 50,65
Rejillas de retorno cuadradas (20 in x 20 in) de 4 vías	2 und.	\$ 56,59	\$ 113,18
Instalación de difusores y rejillas de retorno	126 und.	\$ 4,67	\$ 588,42
<b>Total</b>			<b>\$ 32.711,00</b>

**Tabla 3.17 Costos de los equipos eléctricos [Elaboración propia]**

<b>Sistema eléctrico</b>			
<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Costo</b>
Cable conductor AWG No. 2	820 ft	\$ 0,54	\$ 442,80
Cable conductor AWG No. 4	330 ft	\$ 0,38	\$ 125,40
Tablero de control para equipos monofásicos	1 und.	\$ 76,99	\$ 76,99
Tablero de control para equipos trifásicos	1 und.	\$ 93,99	\$ 93,99
Interruptores 2 polos 80 A	2 und.	\$ 57,99	\$ 115,98
Interruptores 2 polos 100 A	2 und.	\$ 63,99	\$ 127,98
Interruptores 3 polos 80 A	1 und.	\$ 91,99	\$ 91,99
Interruptores 3 polos 100 A	3 und.	\$ 126,99	\$ 380,97
Contactores trifásicos 80 A	2 und.	\$ 248,76	\$ 497,52
Contactores trifásicos 100 A	2 und.	\$ 276,86	\$ 553,72
Relés térmicos 80 A	2 und.	\$ 159,87	\$ 319,74
Relés térmicos 100 A	2 und.	\$ 186,45	\$ 372,90

<b>Sistema eléctrico</b>			
<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Costo</b>
Fusibles trifásicos 80 A	6 und.	\$ 12,78	\$ 76,68
Instalaciones de todos los componentes eléctricos	1 und.	\$ 5000,00	\$ 5000,00
<b>Total</b>			<b>\$ 8.276,98</b>

**Tabla 3.18 Costos de climatización [Elaboración propia]**

<b>Equipos</b>			
<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Costo</b>
Unidad Manejadora de Aire 1300CFM, 54,000 Btu/h R-410A, 220V/3 fases/60Hz, incluye banco de filtrado G4+F6+F7, incluye unidad condensadora VRF + AHU Kit.	1 und.	\$ 19.050,00	\$ 19.050,00
Unidad Manejadora de Aire 1960CFM, 68,000 Btu/h R-410A, 220V/3 fases/60Hz, incluye banco de filtrado G4+F6+F7, incluye unidad condensadora VRF + AHU Kit.	1 und.	\$ 22.590,00	\$ 22.590,00
Unidad Manejadora de Aire 1160CFM, 43,000 Btu/h R-410A, 220V/3 fases/60Hz, incluye banco de filtrado G4+F6+F7, incluye unidad condensadora VRF + AHU Kit.	1 und.	\$ 18.890,00	\$ 18.890,00
Unidad Manejadora de Aire 2580CFM, 92,000 Btu/h R-410A, 220V/3 fases/60Hz, incluye banco de filtrado G4+F6+F7, incluye unidad condensadora VRF + AHU Kit	1 und.	\$ 24.900,00	\$ 24.900,00

<b>Equipos</b>			
<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Costo</b>
Unidad Manejadora de Aire 3190CFM, 136,000 Btu/h R-410A, 220V/3 fases/60Hz, incluye banco de filtrado G4+F6+F7, incluye unidad condensadora VRF + AHU Kit.	1 und.	\$ 28.896,00	\$ 28.896,00
Unidad Manejadora de Aire 1350CFM, 54,000 Btu/h R-410A, 220V/3 fases/60Hz, incluye banco de filtrado G4+F6+F7, incluye unidad condensadora VRF + AHU Kit.	1 und.	\$ 19.050,00	\$ 19.050,00
Unidad Manejadora de Aire 3350CFM, 136,000 Btu/h R-410A, 220V/3 fases/60Hz, incluye banco de filtrado G4+F7, incluye unidad condensadora VRF + AHU Kit.	1 und.	\$ 28.998,00	\$ 28.998,00
Unidad Manejadora de Aire 4100CFM, 136,000 Btu/h R-410A, 220V/3 fases/60Hz, incluye banco de filtrado G4+F7, incluye unidad condensadora VRF + AHU Kit	1 und.	\$ 29.780,00	\$ 29.780,00
Unidad de aire acondicionado Fan coil 24000 Btu/h	1 und.	\$ 1300,00	\$ 800,00
Unidad de aire acondicionado de 12000 Btu/h	1 und.	\$ 500,00	\$ 500,00
Ventilador de extracción en línea 1700CFM, 0.20" depresión estática	1 und.	\$ 1.420,00	\$ 1.420,00

<b>Equipos</b>			
<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Costo</b>
Ventilador de extracción en línea 240CFM, 0.20"SP <sup>8</sup>	1 und.	\$ 998,00	\$ 998,00
Ventilador de extracción en línea 600CFM, 0.20"SP	1 und.	\$ 1.290,00	\$ 1.290,00
Ventilador de extracción en línea 1160CFM, 0.10"SP	1 und.	\$ 1.360,00	\$ 1.360,00
Compra e instalación de unidad de extractora de baño 50 CFM	1 und.	\$ 51,00	\$ 51,00
Compra e instalación de cajas VAV	47 und.	\$ 240,00	\$ 11.280,00
<b>Total</b>			<b>\$ 234.019,64</b>

**Tabla 3.19 Resumen de costos [Elaboración propia]**

<b>Sistema</b>	<b>Costo</b>	<b>Costo porcentual</b>
Ductos	\$ 32.711,00	12,0%
Eléctrico	\$ 8.276,98	3,0%
Climatización	\$ 234.019,64	85,0%
<b>Total</b>	<b>\$ 275.007,62</b>	<b>100,0%</b>

La Tabla 3.19 presenta el costo porcentual de cada sistema del proyecto, en ella se observa como los equipos de climatización representan el 85% de los gastos. Esto se debe a que, a diferencia de los equipos convencionales, que solo controlan la temperatura, los equipos adquiridos controlan los parámetros de confort térmicos y están diseñados con la finalidad de tratar una cierta cantidad de aire fresco y de renovación. Además, tienen una alta eficiencia en el control de partículas, requiriendo hasta 3 bancos de filtros, lo que implica un equipo más robusto y con mayores componentes. Asimismo, se optó por ventiladores centrífugos con aspas curvadas hacia adelante puesto que son los más económicos del mercado.

---

<sup>8</sup> SP *Static pressure*

Por otro lado, el segundo rubro más alto fue el sistema de ductos con un 12% del presupuesto total. En este sistema se utilizaron ductos flexibles para reducir la cantidad de material usado en su fabricación. Finalmente, el costo e instalación del sistema eléctrico es el menor rubro del proyecto y esto es debido a que no todas las unidades son trifásicas, lo que provoca que el precio de componentes e instalación disminuya.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

La propuesta de diseño del sistema VRF-UMA con extracciones localizadas fue la adecuada ya que al ser una aplicación farmacéutica se requieren altas tasas de aire fresco y de renovación para la dilución de contaminantes, esto se logró con la aplicación de estándares de calidad de aire y clasificación de salas limpias descritos por la ASHRAE y la ISO-14644-1. De esta manera se puede garantizar la inocuidad y calidad del producto tal como lo exige la normativa ecuatoriana.

El levantamiento de información acerca de:

- El proceso de manufactura de los medicamentos como sólidos, polvos, líquidos y cremas de este laboratorio permitió conocer los parámetros y condiciones críticas, así, por ejemplo, la renovación de aire, aire exterior, nivel de humedad y temperatura.
- La ubicación geográfica fue un aspecto importante, porque determinó las condiciones de temperatura, humedad, altitud y niveles de contaminación del ambiente. Estos parámetros influyeron en las cargas sensibles y latentes, así como en la temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo, las cuales fueron esenciales para la correcta selección de los equipos.
- Las condiciones estructurales de la edificación como el caso de la altura de cielo raso, materiales de construcción, tipo de esclusas, ventanas y puertas, entre otras, incidieron en los parámetros térmicos, presurización de cuartos y dimensionamiento del sistema de ductos.

La implementación de equipos de climatización y sistemas de ductos independientes en función de las áreas de producción del laboratorio farmacéutico permitió elaborar un diseño óptimo y adecuado para el cumplimiento de las condiciones óptimas de operación propuestas por el ARCSA.

El costo estimado para la realización de este proyecto superó en un 53% el presupuesto inicial. Esto fue así porque se decidió utilizar manejadoras de aire

para todas las áreas, incluidas las áreas menos críticas, como bodegas, en lugar de una unidad central de ductos o *Fan Coils*. Sin embargo, esta decisión se basa en que al ser un laboratorio farmacéutico es importante tener un control en las áreas de almacenamiento.

Las áreas del laboratorio que se ubican en la envolvente del edificio fueron las que presentaron mayor carga sensible ya que estuvieron directamente expuestas a la incidencia solar.

Separar los equipos de climatización de las bodegas de planta alta y baja disminuye los costos operativos en caso de que una bodega no se encuentre en funcionamiento.

La cantidad mínima de aire exterior calculada aumentó porque se consideró una mayor tasa de aire fresco por persona debido a la situación actual de la pandemia, esto con la finalidad de mejorar la dilución de partículas.

La medida óptima de aire fresco aplicando el método de zonas múltiples propuesto por ASHRAE fue inferior al total de aire fresco en cada agrupación, este resultado implicó que siguiendo esta metodología se puede suministrar una menor cantidad de aire exterior para mantener la calidad de aire interior.

La extracción de aire localizada permitió la selección de unidades manejadoras que no dispongan de remoción de aire, siendo equipos de menor complejidad y a su vez más económicos.

Los sistemas de ductos con menor complejidad tuvieron bajas pérdidas de presión en comparación con aquellas que presentaron mayores cambios de dirección y derivaciones.

El procedimiento usado para el cálculo de las pérdidas localizadas tuvo la limitante de haber sido realizado mediante estimaciones para la longitud equivalente, y no

con los respectivos coeficientes de accesorios obtenidos de forma experimental por los fabricantes.

Los diagramas unifilares de los equipos de climatización permiten diferenciar los equipos monofásicos de los trifásicos, así como los accesorios de potencia que se requieren para la protección contra las sobrecargas de tensión que los equipos puedan soportar.

La potencia del ventilador está relacionada con la presión estática del sistema de suministro y retorno, así como del caudal de aire que debe suministrarse para completar el recorrido correctamente.

## **4.2 Recomendaciones**

A proyectos para edificaciones similares, se sugiere seguir la metodología presentada en este proyecto, ya que sirve de guía para el correcto cálculo de los caudales que aseguran cumplir con los requerimientos de presión y calidad de aire interior.

Realizar un mapeo de los niveles de presión ayuda a determinar el movimiento de aire, así como el aire de infiltración y exfiltración hacia las habitaciones contiguas.

Para acercarse a los lineamientos de la certificación LEED, se sugiere seguir las siguientes recomendaciones con la finalidad de reducir las cargas térmicas y utilizar menos recursos para el acondicionamiento del laboratorio:

- Las superficies externas se pueden cubrir con pintura de baja absorptividad para reflejar los rayos del sol.
- Utilizar poliuretano expandido en la cubierta del edificio.
- Incluir pequeñas ventanas entre el tumbado y la cubierta para aprovechar la ventilación natural.

Para el correcto dimensionamiento de ductos se sugiere las siguientes medidas:

- Diseñar ductos simétricamente y con pocos cambios de dirección para reducir las pérdidas por presión.
- Utilizar medidas superiores a las 4 pulgadas ya que los fabricantes de ductos no trabajan con dimensiones menores.
- Para el cálculo de pérdidas en accesorios utilizar el *software Duct Fitting Database* previsto por ASHRAE.

Se sugiere conectar las manejadoras a las líneas de tal forma que se consiga un correcto balance eléctrico y no se produzcan caídas de tensión al encender los equipos que consumen mayor energía.

Con el fin de mejorar el diseño del sistema de aire acondicionado, se presentan las siguientes consideraciones:

- Utilizar una conexión de derivación o *bypass* entre los ductos de suministro y retorno para evitar que los ductos de suministro estén en sobrepresión cuando las cajas VAV estén completamente cerradas, aliviando así la presión en estas líneas.
- Implementar un sistema de recuperación de calor en los ductos de extracción con intercambiadores de calor de flujo cruzado, ya que el diseño propuesto contempla expulsar este fluido al ambiente. Sin embargo, se puede aprovechar para enfriar el aire exterior.

La Tabla 3.15 presenta un plan de mantenimiento para los equipos principales del sistema de climatización, sin embargo, se recomienda seguir la metodología del fabricante para correcto mantenimiento de los equipos.

Se sugiere asignar un área para la ubicación de las condensadoras y manejadoras de aire para facilitar el mantenimiento de estos equipos.

# BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria - Coordinación Técnica de Certificaciones y Autorizaciones y Buenas Prácticas Sanitarias - Dirección Técnica de Buenas Prácticas y Permisos. (2017). *Requisitos para la Obtención, Renovación, ampliación o inclusión del Certificado de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) para Laboratorios Farmacéuticos*. Guayaquil, Guayas, Ecuador. Obtenido de [https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/04/IE-D.2.1-BPM-03\\_REQUISITOS-PARA-OBTENCI%C3%93N-O-RENOVACI%C3%93N-CERTIFICADO-BPM.pdf](https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/04/IE-D.2.1-BPM-03_REQUISITOS-PARA-OBTENCI%C3%93N-O-RENOVACI%C3%93N-CERTIFICADO-BPM.pdf)
- Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria - Coordinación Técnica de Certificaciones y Autorizaciones y Buenas Prácticas Sanitarias - Dirección Técnica de Buenas Prácticas y Permisos. (2019). *Instructivo descriptivo de establecimientos sujetos a vigilancia y control sanitario*. Guayaquil, Guayas, Ecuador: ARCSA. Obtenido de [https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/04/IE-B.3.0-PF-01\\_Descriptivo-de-establecimientos-sujetos-a-vigilancia-y-control-sanitario\\_v6.0.pdf](https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/04/IE-B.3.0-PF-01_Descriptivo-de-establecimientos-sujetos-a-vigilancia-y-control-sanitario_v6.0.pdf)
- Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria - Coordinación Técnica de Certificaciones y Autorizaciones y Buenas Prácticas Sanitarias - Dirección Técnica de Medicamentos, Productos Naturales, Dispositivos Médicos y Reactivos Bioquímicos. (2019). *Requisitos y procedimiento para la Obtención, Renovación, Ampliación, Inclusión de formas farmacéuticas o Modificación del Certificado de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) para Laboratorios Farmacéuticos Nacionales*. Guayaquil, Guayas, Ecuador: ARCSA.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2010). *90.1 User's Manual: ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2010: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. Atlanta: ASHRAE Inc.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2010). *ANSI/ASHRAE Standard 55-2010: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta: ASHRAE Inc.

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2010). *ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2010: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. Atlanta: ASHRAE Inc.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2013). *Manual de diseño de calefacción, ventilación y aire acondicionado para hospitales y clínicas* (Segunda ed.). Atlanta, Georgia, Estados Unidos: ASHRAE Inc.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2014). *Load calculation applications manual* (Second ed.). (J. D. Spitler, Ed.) Atlanta, Georgia, United States: ASHRAE Inc.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2015). *ASHRAE Laboratory Design Guide: Planning and Operation of Laboratory HVAC Systems*. Atlanta, Georgia, United States: ASHRAE Inc.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2017). *ANSI/ASHRAE Standard 52.2-2017 - Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size*. ASHRAE. Atlanta: ASHRAE Inc.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2017). *ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2017: Ventilation of Health Care Facilities*. Atlanta: ASHRAE Inc.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2019). *2019 ASHRAE handbook: HVAC Applications* (First ed.). Atlanta, Georgia, United States: ASHRAE Inc.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2021). *ASHRAE EPIDEMIC TASK FORCE Core Recommendations for Reducing Airborne Infectious Aerosol Exposure*. Atlanta: ASHRAE. Recuperado el 14 de Diciembre de 2021, de <https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/covid-19/core-recommendations-for-reducing-airborne-infectious-aerosol-exposure.pdf>
- ARCSA. (2007). *Laboratorios farmacéuticos con certificación de buenas prácticas de manufactura (BPM)*. Guayaquil, Guayas, Ecuador: Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria. Obtenido de <https://www.controlsanitario.gob.ec/wp->

content/uploads/downloads/2014/05/LISTA-DE-LABORAOTORIO-FARMACEUTICOS.pdf

- ASHRAE. (2007). *62.1 User's Manual: ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2007: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. Atlanta, Georgia, United States: ASHRAE Inc.
- ASHRAE. (2007). *Fundamental of HVAC Systems* (First ed.). (R. P. McDowall, Ed.) Atlanta, Georgia, United States: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Recuperado el 18 de octubre de 2021
- ASHRAE. (2016). *2016 ASHRAE handbook: HVAC Systems and Equipment*. Atlanta, Georgia, United States: ASHRAE Inc.
- ASHRAE. (2017). *2017 ASHRAE handbook: Fundamentals*. Atlanta, Georgia, United States: ASHRAE Inc. Recuperado el 20 de Octubre de 2021
- ASHRAE. (2019). *ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2019: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Carrier Air Conditioning Co. (s.f.). *Handbook of Air Conditioning System Design*. New York, New York, United States: McGRAW-HILL.
- Cinfa. (12 de 01 de 2015). *Cinfa Salud*. Obtenido de Cinfa Salud: <https://cinfasalud.cinfa.com/p/como-se-fabrica-un-medicamento/>
- Comité consultivo nacional de normalización de regulación y fomento sanitario. (2006). *Secretaría de Gobernación*. Recuperado el 2 de Enero de 2022, de Secretaría de Gobernación: <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/3578/SALUD/SALUD.htm>
- Gad, C. S. (2008). *Pharmaceutical Manufacturing Handbook: Production and Processes*. Cary, North Carolina, United States: John Wiley & Sons, Inc. Recuperado el 9 de 11 de 2021
- Gobierno de España - Ministerio de Sanidad. (30 de Julio de 2020). Recomendaciones de operación y mantenimiento de los sistemas de climatización y ventilación de edificios y locales para la prevención de la propagación del SARS-CoV-2. *Gobierno de España - Ministerio de Sanidad*, 3-13. Recuperado el 14 de Diciembre de 2021, de [https://www.sanidad.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/Recomendaciones\\_de\\_operacion\\_y\\_mantenimiento.pdf](https://www.sanidad.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/Recomendaciones_de_operacion_y_mantenimiento.pdf)
- GOVERNMENT OF DUBAI. (2015). *ANNUAL REPORT 2015 Regulatory & Supervisory Bureau for Electricity & Water*. DUBAI: GOVERNMENT OF DUBAI.

- Instituto de Salud Pública de Chile. (Agosto de 2021). Recomendaciones sobre prevención de COVID-19 en lugares de trabajo “edificios modernos”. *Instituto de Salud Pública de Chile*, 3-11. Recuperado el 13 de Diciembre de 2021, de Ministerio de Salud - Gobierno de Chile: <https://www.ispch.cl/wp-content/uploads/2021/08/GuiaPrevencionCovidLugaresTrabajo02-27082021A.pdf>
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (Enero de 2021). La ventilación como medida preventiva frente al coronavirus SARS-CoV-2. (D. d. Tecnologías, Ed.) *Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo*, 3-10. Recuperado el 13 de Diciembre de 2021, de <https://www.insst.es/documents/94886/712877/La+ventilaci%C3%B3n+como+medida+preventiva+frente+al+coronavirus+SARS-CoV-2.pdf/7d80e9f3-2b44-7e37-8af2-7ab105621070?t=1626298548369>
- ISO. (2015). *ISO 14644-1:2015 - Cleanrooms and associated controlled environments — Part 1: Classification of air cleanliness by particle concentration* (Second ed.). International Organization for Standardization.
- Krick, E. (2006). *Introducción a la ingeniería y al diseño de la ingeniería*. Easton, Pennsylvania, Estados Unidos: Limusa Noriega.
- Madrid Salud. (Septiembre de 2020). Recomendaciones de ventilación en lugares de trabajo COVID-19. *Madrid Salud*, 2-3. Recuperado el 13 de Diciembre de 2021, de <http://www.ugtsmd.es/coronavirus/RecomendacionesVentilacionLugaresTrabajo.pdf>
- Ministerio de Salud Pública. (2017). No. ARCSA-DE-007-2017-JCGO: *Normativa Control y Funcionamiento Establecimientos Farmacéuticos*. Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria.
- Silverson. (s.f.). *Silverson*. Obtenido de Silverson: <https://www.silverson.es/es/biblioteca-de-recursos/informes-de-aplicacion/produccion-de-cremas-y-unguentos-farmacuticos-es>
- Universidad Carlos III de Madrid. (s.f.). *Funcionamiento de los sistemas de climatización y ventilación de edificios en la Universidad Carlos III de Madrid como medida de prevención frente a la COVID-19*. Universidad Carlos III de Madrid, Madrid.

World Health Organization. (2011). *WHO Technical Report Series, No. 961, 2011: Supplementary guidelines on good manufacturing*. WHO.

# APÉNDICES

## APÉNDICE A METODOLOGÍA

**Tabla A.1 Requerimientos de diferenciales de presiones [Elaboración propia]**

Nombre Cuarto	Presión Diferencial	Diferencial de Presión ( <i>in. W. C.</i> )
<b>Planta Baja</b>		
Área 1 Polvos	Positivo	0,0402
Esclusa	Positivo	0,0201
Área 2 Polvos	Positivo	0,0402
Esclusa	Positivo	0,0201
Área de Lavado Polvos	Positivo	0,0201
Mesa 1 Área de Semisólidos	Positivo	0,0402
Bodega Envase Semisólidos + Elevador	Neutro	0,0201
Área de Líquido - Llenadora	Positivo	0,0402
Área Supervisor	Neutro	0,0201
Área de Control	Positivo	0,0201
Corredor	Positivo	0,0201
Esclusa Área de Máquina Llenadora	Positivo	0,0201
Esclusa Semisólidos	Positivo	0,0201
Esclusa Hombres	Positivo	0,0201
Esclusa Mujeres	Positivo	0,0201
<b>Planta alta</b>		
Esclusa Mujeres	Positivo	0,0201
Esclusa Hombres	Positivo	0,0201
Corredor	Positivo	0,0201
Cuarto de Estabilidad	Positivo	0,0201
Área de Lavado	Positivo	No aplica
Laboratorio Control de Calidad	Negativo	0,0402
Preparación Líquidos	Positivo	0,0402
Esclusa	Positivo	0,0201
Preparación Semisólidos	Positivo	0,0402
Esclusa	Negativo	0,0201
Laboratorio Microbiológico	Positivo	0,0402
Esclusa	Negativo	0,0201
Corredor Elevador	Positivo	0,0201
Esclusa Corredor	Positivo	0,0201

Nombre Cuarto	Presión Diferencial	Diferencial de Presión (in. W. C.)
Dispensado	Negativo	0,0402
Esclusa	Positivo	0,0201
Esclusa Bodega Corredor	Positivo	0,0201

**Tabla A.2 Clasificación para áreas de fabricación farmacéutica [Comité consultivo nacional de normalización de regulación y fomento sanitario]**

Clase	Equivalencia en norma ISO	Rango de ACH recomendados $\left(\frac{1}{h}\right)$	Presión diferencial	Rango de temperatura (Fahrenheit)	Rango de humedad relativa
A	5	25	0,06	64,4 – 77	30-65 %
B	6	20	0,06	64,4 – 77	30-65 %
C	7	20	0,04	64,4 – 77	30-65 %
D	8	10	0,02	64,4 – 77	30-65 %
E	9	6-10	NA	64,4 – 77	30-65 %
F			NA	64,4 – 77	30-65 %
G			NA	64,4 – 77	30-65 %

**Tabla A.3 Tasas mínimas de ventilación para la zona de ventilación [ASHRAE, 2019]**

Occupancy Category	People Outdoor Air Rate $R_p$ (cfm/person)	Area Outdoor Air Rate $R_a$ (cfm/ft <sup>2</sup> )
<b>Educational Facilities</b>		
Computer Lab	10	0,12
<b>Miscellaneous Spaces</b>		
Pharmacy (prep. area)	5	0,18
Warehouses	10	0,06
<b>Office Buildings</b>		
Office space	5	0,06
Reception areas	5	0,06
<b>Transient Residential</b>		
Common corridors	-	0,06

# APÉNDICE B

## MEMORIA DE CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS EN EL SOFTWARE HAP

A continuación, se presenta la metodología y los diversos factores tomados en cuenta para su correcto cálculo:

### 1. Establecer lugar geográfico.

Designar la ubicación donde estamos realizando nuestro proyecto para que el programa asigne, según su base de datos, los valores de temperatura, latitud, humedad, entre otros parámetros de la locación.

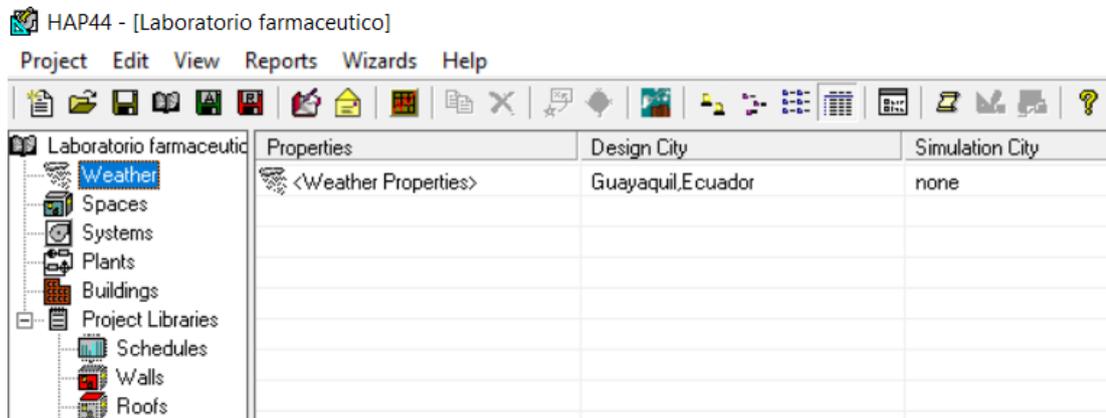


Figura B.1 Establecer lugar geográfico [HAP]

### 2. Establecer horarios de trabajo.

Estos horarios nos permitieron simular las horas y días del año en los que se requiere un gasto energético dentro del laboratorio.

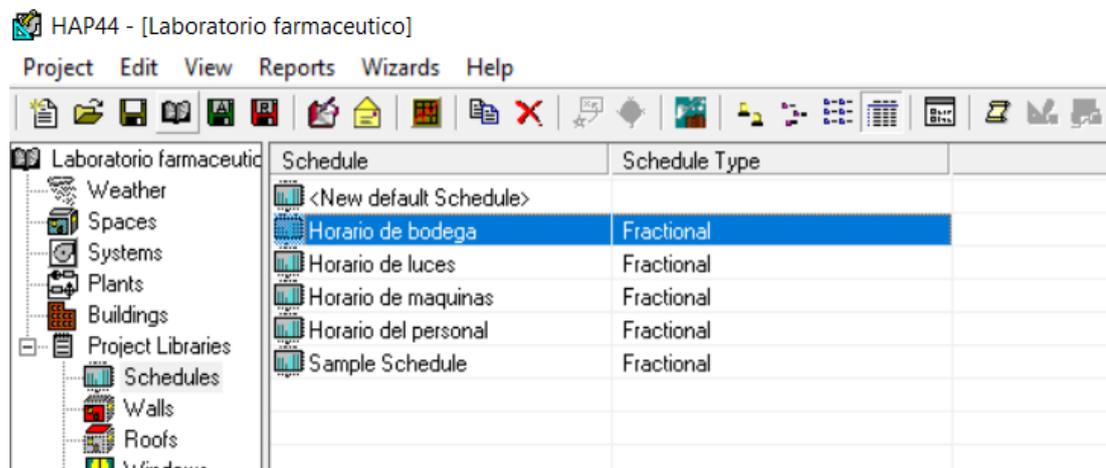


Figura B.2 Establecer horarios de trabajo [HAP]

### 3. Establecer tipos de materiales.

En este apartado, se estableció la designación de materiales por tipos de elementos como paredes, pisos, ventanas, puertas y pérgolas, para introducirlos cuando se establezcan las zonas.

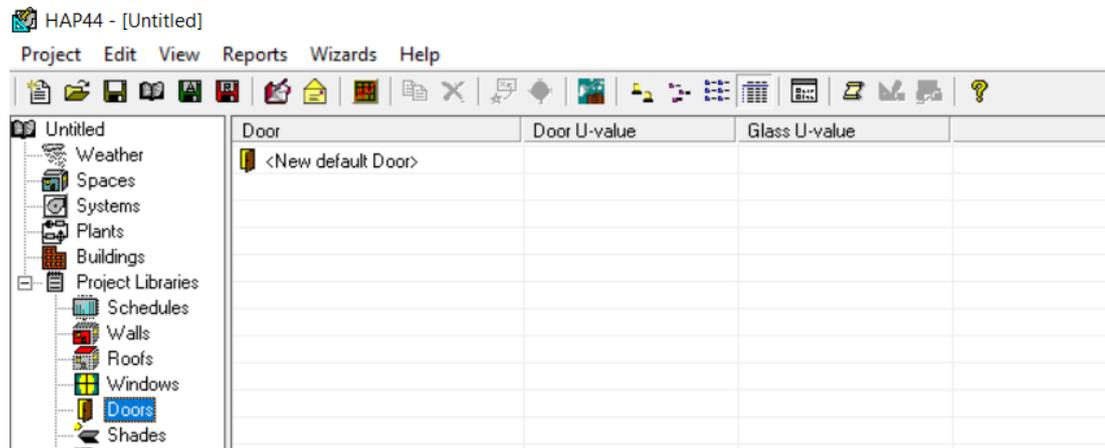


Figura B.3 Establecer tipos de materiales [HAP]

### 4. Designación de zonas.

La cantidad de zonas se determinó clasificando las áreas en zonas específicas, esto se hizo estableciendo el área a tratar.

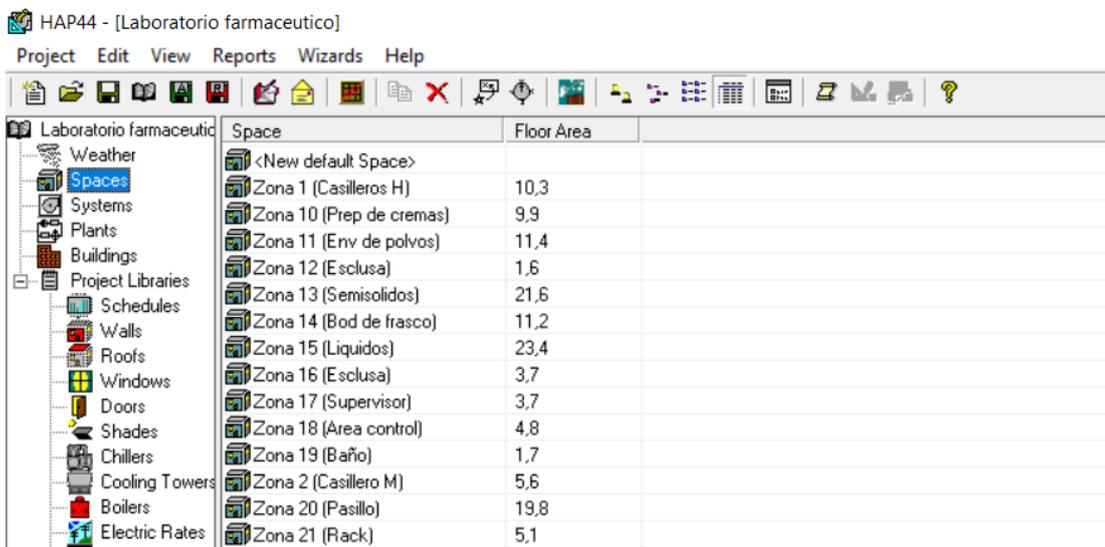


Figura B.4 Designación de zonas [HAP]

Además, se consideró factores influyentes como la carga sensible y latente, por ejemplo: el área a acondicionar, número de personas, actividad realizada, horario

de trabajo, tipo de material de construcción, cantidad de puertas, ventanas, consumo energético de equipos eléctricos, iluminación, infiltración, entre otros.

Space Properties - [Zona 1 (Casilleros H)]

General | Internals | Walls, Windows, Doors | Roofs, Skylights | Infiltration | Floors | Partitions

Name: Zona 1 (Casilleros H)

Floor Area: 10.3 m<sup>2</sup>

Avg Ceiling Height: 2.6 m

Building Weight: 351.5 kg/m<sup>2</sup>

Light Med. Heavy

OA Ventilation Requirements

Space Usage: MISCELLANEOUS: Pharmacy (prep area)

OA Requirement 1: 2.5 L/s/person

OA Requirement 2: 0.90 L/(s·m<sup>2</sup>)

Space usage defaults: ASHRAE Std 62.1-2007  
Defaults can be changed via View/Preferences.

OK Cancel Help

**Figura B.5 Parámetros en la designación de zonas [HAP]**

## 5. Obtención del reporte.

Finalmente, el programa brindó un reporte completo respecto a los valores de cargas térmicas, aire de suministro, parámetros de diseño, entre otros.

## APÉNDICE C

### MEMORIA DE CÁLCULOS PARA REQUERIMIENTOS DE AIRE EXTERIOR

**Tabla C.1 Requerimientos mínimos de aire exterior para grupo 1 [Elaboración propia]**

Zona	Nombre de cuarto	Planta	$A_z$ ( $ft^2$ )	$P_z$ ( <i>personas</i> )	Estándar 62.1 – T6.1 Categoría	$R_p$ $\left(\frac{cfm}{persona}\right)$	$R_a$ $\left(\frac{cfm}{ft^2}\right)$	$R_p \cdot P_z$ ( <i>cfm</i> )	$R_a \cdot A_z$ ( <i>cfm</i> )	$V_{bz}$ ( <i>cfm</i> )	$E_z$	$V_{oz}$ ( <i>cfm</i> )
14	Esclusa Semisólidos	Baja	17,98	1	Casilleros	42,40	0,06	42,40	1,08	43,48	1	43
15	Área Semisólidos	Baja	233,79	2	<i>Pharmacy (prep, area)</i>	42,40	0,18	84,80	42,08	126,88	1	127
34	Preparación Semisólidos	Alta	75,46	2	<i>Pharmacy (prep, area)</i>	42,40	0,18	84,80	13,58	98,38	1	98
35	Esclusa Semisólidos	Alta	19,91	1	Casilleros	42,40	0,06	42,40	1,19	43,59	1	44
Total								254,40	57,94	-	-	312

**Tabla C.2 Requerimientos mínimos de aire exterior para grupo 2 [Elaboración propia]**

Zona	Nombre de cuarto	Planta	$A_z$ ( $ft^2$ )	$P_z$ ( <i>personas</i> )	Estándar 62.1 – T6.1 Categoría	$R_p$ $\left(\frac{cfm}{persona}\right)$	$R_a$ $\left(\frac{cfm}{ft^2}\right)$	$R_p \cdot P_z$ ( <i>cfm</i> )	$R_a \cdot A_z$ ( <i>cfm</i> )	$V_{bz}$ ( <i>cfm</i> )	$E_z$	$V_{oz}$ ( <i>cfm</i> )
17	Área Líquidos	Baja	251,01	2	<i>Pharmacy (prep, area)</i>	42,40	0,18	84,80	45,18	129,98	1	130
18	Esclusa Líquidos	Baja	39,83	2	Casilleros	42,40	0,06	84,80	2,39	87,19	1	87
36	Esclusa Líquidos	Alta	19,91	2	Casilleros	42,40	0,06	84,80	1,19	85,99	1	86
37	Preparación Líquidos	Alta	160,00	2	<i>Pharmacy (prep, area)</i>	42,40	0,18	84,80	28,80	113,60	1	114
Total								339,20	77,57	-	-	417

**Tabla C.3 Requerimientos mínimos de aire exterior para grupo 3 [Elaboración propia]**

Zona	Nombre de cuarto	Planta	$A_z$ ( $ft^2$ )	$P_z$ ( <i>personas</i> )	Estándar 62.1 – T6.1 Categoría	$R_p$ $\left(\frac{cfm}{persona}\right)$	$R_a$ $\left(\frac{cfm}{ft^2}\right)$	$R_p \cdot P_z$ ( <i>cfm</i> )	$R_a \cdot A_z$ ( <i>cfm</i> )	$V_{bz}$ ( <i>cfm</i> )	$E_z$	$V_{oz}$ ( <i>cfm</i> )
9	Área Lavado Polvos	Baja	69,97	2	<i>Pharmacy (prep, area)</i>	42,40	0,18	84,80	12,59	97,39	1	97
10	Esclusa Cremas	Baja	19,38	2	Casilleros	42,40	0,06	84,80	1,16	85,96	1	86
11	Área Cremas	Baja	109,04	2	<i>Pharmacy (prep, area)</i>	42,40	0,18	84,80	19,63	104,43	1	104
12	Esclusa Polvos	Baja	19,38	2	Casilleros	42,40	0,06	84,80	1,16	85,96	1	86
13	Área Polvos	Baja	102,36	2	<i>Pharmacy (prep, area)</i>	42,40	0,18	84,80	18,43	103,23	1	103
Total								424,00	52,97	-	-	477

**Tabla C.4 Requerimientos mínimos de aire exterior para grupo 4 [Elaboración propia]**

Zona	Nombre de cuarto	Planta	$A_z$ ( $ft^2$ )	$P_z$ ( <i>personas</i> )	Estándar 62.1 – T6.1 Categoría	$R_p$ $\left(\frac{cfm}{persona}\right)$	$R_a$ $\left(\frac{cfm}{ft^2}\right)$	$R_p \cdot P_z$ ( <i>cfm</i> )	$R_a \cdot A_z$ ( <i>cfm</i> )	$V_{bz}$ ( <i>cfm</i> )	$E_z$	$V_{oz}$ ( <i>cfm</i> )
6	Pasillo	Baja	494,49	3	<i>Common corridors</i>	42,40	0,06	127,20	29,67	156,87	1	157
16	Bodega Frasco	Baja	123,46	2	<i>Pharmacy (prep, area)</i>	42,40	0,18	84,80	22,22	107,02	1	107
19	Área Supervisor	Baja	39,50	2	<i>Office space</i>	42,40	0,06	84,80	2,37	87,17	1	87
20	Área Control	Baja	52,64	2	<i>Office space</i>	42,40	0,06	84,80	3,16	87,96	1	88
1	Esclusa Hombres	Baja	64,58	3	Casilleros	42,40	0,06	127,20	3,88	131,08	1	131
2	Esclusa Mujeres	Baja	63,51	3	Casilleros	42,40	0,06	127,20	3,81	131,01	1	131
Total								636,00	65,11	-	-	701

**Tabla C.5 Requerimientos mínimos de aire exterior para grupo 5 [Elaboración propia]**

Zona	Nombre de cuarto	Planta	$A_z$ ( $ft^2$ )	$P_z$ ( <i>personas</i> )	Estándar 62.1 – T6.1 Categoría	$R_p$ $\left(\frac{cfm}{persona}\right)$	$R_a$ $\left(\frac{cfm}{ft^2}\right)$	$R_p \cdot P_z$ ( <i>cfm</i> )	$R_a \cdot A_z$ ( <i>cfm</i> )	$V_{bz}$ ( <i>cfm</i> )	$E_z$	$V_{oz}$ ( <i>cfm</i> )
7	Empaque	Baja	521,73	5	<i>Pharmacy (prep, area)</i>	42,40	0,18	212,00	93,91	305,91	1	306
8	Bodega	Baja	455,85	5	<i>Pharmacy (prep, area)</i>	42,40	0,18	212,00	82,05	294,05	1	294
3	Casilleros Mujeres	Baja	59,63	3	Casilleros	42,40	0,06	127,20	3,58	130,78	1	131
4	Casilleros Hombres	Baja	62,97	3	Casilleros	42,40	0,06	127,20	3,78	130,98	1	131
5	Casilleros	Baja	60,39	3	Casilleros	42,40	0,06	127,20	3,62	130,82	1	131
Total								805,60	186,94	-	-	993

**Tabla C.6 Requerimientos mínimos de aire exterior para grupo 6 [Elaboración propia]**

Zona	Nombre de cuarto	Planta	$A_z$ ( $ft^2$ )	$P_z$ ( <i>personas</i> )	Estándar 62.1 – T6.1 Categoría	$R_p$ $\left(\frac{cfm}{persona}\right)$	$R_a$ $\left(\frac{cfm}{ft^2}\right)$	$R_p \cdot P_z$ ( <i>cfm</i> )	$R_a \cdot A_z$ ( <i>cfm</i> )	$V_{bz}$ ( <i>cfm</i> )	$E_z$	$V_{oz}$ ( <i>cfm</i> )
30	Bodega General	Alta	1132,90	5	<i>Pharmacy (prep, area)</i>	42,40	0,18	212,00	203,92	415,92	1	416
46	Cuarto de Osmosis	Alta	187,83	2	<i>Pharmacy (prep, area)</i>	42,40	0,18	84,80	33,81	118,61	1	119
Total								296,80	237,73	-	-	535

**Tabla C.7 Requerimientos mínimos de aire exterior para grupo 7 [Elaboración propia]**

Zona	Nombre de cuarto	Planta	$A_z$ ( $ft^2$ )	$P_z$ ( <i>personas</i> )	Estándar 62.1 – T6.1 Categoría	$R_p$ ( $\frac{cfm}{persona}$ )	$R_a$ ( $\frac{cfm}{ft^2}$ )	$R_p \cdot P_z$ ( <i>cfm</i> )	$R_a \cdot A_z$ ( <i>cfm</i> )	$V_{bz}$ ( <i>cfm</i> )	$E_z$	$V_{oz}$ ( <i>cfm</i> )
29	Pasillo	Alta	295,25	3	<i>Common corridors</i>	42,40	0,06	127,20	17,72	144,92	1	145
33	Área de Lavado	Alta	53,50	2	<i>Pharmacy (prep, area)</i>	42,40	0,18	84,80	9,63	94,43	1	94
40	Esclusa Bodega Corredor	Alta	24,22	2	Casilleros	42,40	0,06	84,80	1,45	86,25	1	86
41	Esclusa Dispensado	Alta	19,27	2	Casilleros	42,40	0,06	84,80	1,16	85,96	1	86
42	Dispensado	Alta	41,76	2	<i>Pharmacy (prep, area)</i>	42,40	0,18	84,80	7,52	92,32	1	92
43	Esclusa Salida Emergencia	Alta	24,54	2	Casilleros	42,40	0,06	84,80	1,47	86,27	1	86
44	Corredor Elevador	Alta	127,23	3	Casilleros	42,40	0,06	127,20	7,63	134,83	1	135
45	Salida de Emergencia	Alta	251,12	2	<i>Common corridors</i>	42,40	0,06	84,80	15,07	99,87	1	100
25	Casilleros Hombres	Alta	69,53	3	Casilleros	42,40	0,06	127,20	4,17	131,37	1	131
26	Casilleros Mujeres	Alta	69,86	3	Casilleros	42,40	0,06	127,20	4,19	131,39	1	131
<b>Total</b>								1017,60	70,01	-	-	1088

**Tabla C.8 Requerimientos mínimos de aire exterior para grupo 8 [Elaboración propia]**

Zona	Nombre de cuarto	Planta	$A_z$ ( $ft^2$ )	$P_z$ ( <i>personas</i> )	Estándar 62.1 – T6.1 Categoría	$R_p$ ( $\frac{cfm}{persona}$ )	$R_a$ ( $\frac{cfm}{ft^2}$ )	$R_p \cdot P_z$ ( <i>cfm</i> )	$R_a \cdot A_z$ ( <i>cfm</i> )	$V_{bz}$ ( <i>cfm</i> )	$E_z$	$V_{oz}$ ( <i>cfm</i> )
31	Control de Calidad	Alta	138,85	2	<i>Pharmacy (prep, area)</i>	42,40	0,18	84,80	24,99	109,79	1	110
32	Cuarto de Estabilidad	Alta	53,39	2	<i>Pharmacy (prep, area)</i>	42,40	0,18	84,80	9,61	94,41	1	94
38	Esclusa Microbiológico	Alta	20,88	2	Casilleros	42,40	0,06	84,80	1,25	86,05	1	86

Zona	Nombre de cuarto	Planta	$A_z$ ( $ft^2$ )	$P_z$ ( <i>personas</i> )	Estándar 62.1 – T6.1 Categoría	$R_p$ $\left(\frac{cfm}{persona}\right)$	$R_a$ $\left(\frac{cfm}{ft^2}\right)$	$R_p \cdot P_z$ ( <i>cfm</i> )	$R_a \cdot A_z$ ( <i>cfm</i> )	$V_{bz}$ ( <i>cfm</i> )	$E_z$	$V_{oz}$ ( <i>cfm</i> )
39	Laboratorio Microbiológico	Alta	103,76	2	Pharmacy (prep, area)	42,40	0,18	84,80	18,68	103,48	1	103
<b>Total</b>								339,20	54,53	-	-	394

**Tabla C.9 Requerimientos mínimos de aire exterior para grupo 9 [Elaboración propia]**

Zona	Nombre de cuarto	Planta	$A_z$ ( $ft^2$ )	$P_z$ ( <i>personas</i> )	Estándar 62.1 – T6.1 Categoría	$R_p$ $\left(\frac{cfm}{persona}\right)$	$R_a$ $\left(\frac{cfm}{ft^2}\right)$	$R_p \cdot P_z$ ( <i>cfm</i> )	$R_a \cdot A_z$ ( <i>cfm</i> )	$V_{bz}$ ( <i>cfm</i> )	$E_z$	$V_{oz}$ ( <i>cfm</i> )
24	Oficina de Mantenimiento	Alta	55,43	2	Office space	42,40	0,06	84,80	3,33	88,13	1	88
22	Pasillo	Alta	211,73	2	Common corridors	42,40	0,06	84,80	12,70	97,50	1	98
27	Esclusa (Bodega-Elevador)	Alta	31,22	2	Casilleros	42,40	0,06	84,80	1,87	86,67	1	87
<b>Total</b>								254,40	17,90	-	-	272

**Tabla C.10 Requerimientos mínimos de aire exterior para grupo 10 [Elaboración propia]**

Zona	Nombre de cuarto	Planta	$A_z$ ( $ft^2$ )	$P_z$ ( <i>personas</i> )	Estándar 62.1 – T6.1 Categoría	$R_p$ $\left(\frac{cfm}{persona}\right)$	$R_a$ $\left(\frac{cfm}{ft^2}\right)$	$R_p \cdot P_z$ ( <i>cfm</i> )	$R_a \cdot A_z$ ( <i>cfm</i> )	$V_{bz}$ ( <i>cfm</i> )	$E_z$	$V_{oz}$ ( <i>cfm</i> )
23	Rack	Alta	59,42	2	Computer Lab	42,40	0,12	84,80	7,13	91,93	1	92
21	Baño	Alta	20,99	1	Toilets	42,40	0,06	42,40	1,26	43,66	1	44
<b>Total</b>								127,20	8,39	-	-	136

**Tabla C.11 Requerimientos mínimos de aire usando la metodología de ASHRAE [Elaboración propia]**

<b>Grupo</b>	$\sum R_p \cdot P_z$ ( <i>cfm</i> )	$\sum R_a \cdot A_z$ ( <i>cfm</i> )	$P_s$ ( <i>personas</i> )	$\sum P_z$ ( <i>personas</i> )	<b>Factor de diversidad</b> $D$	<b>Eficiencia</b> $E_v$	$V_{ou}$ ( <i>cfm</i> )	$V_{ot}$ ( <i>cfm</i> )	<b>Aire exterior de diseño</b> ( <i>cfm</i> )
1	254,40	57,94	2	6	0,33	0,51	143	278	300
2	339,20	77,57	2	8	0,25	0,44	162	369	400
3	424,00	52,97	2	10	0,20	0,46	138	300	300
4	636,00	65,11	3	15	0,20	0,40	192	486	500
5	805,60	186,94	5	19	0,26	0,45	399	883	900
6	296,80	237,73	5	7	0,71	0,75	450	600	600
7	1017,60	70,01	3	24	0,13	0,33	197	598	1000
8	339,20	54,53	2	8	0,25	0,44	139	317	350
9	254,40	17,90	2	6	0,33	0,51	103	200	200
10	127,20	8,39	2	3	0,67	0,75	93	124	-

## APÉNDICE D

### MEMORIA DE CÁLCULOS PARA LA CLIMATIZACIÓN DEL LABORATORIO

**Tabla D.1 Caudal de fuga en puertas. Exfiltraciones e Infiltraciones [Elaboración propia]**

Tipo de puerta	Longitud (in)	Ancho (in)	Perímetro (in)	Abertura (in)	Área de fuga (in <sup>2</sup> )	Aire de fuga con un diferencial de presión de 0,02 in. W. C. (cfm)	Aire de fuga con un diferencial de presión de 0,04 in. W. C. (cfm)	Aire de fuga con un diferencial de presión de 0,06 in. W. C. (cfm)
Puerta simple	82,68	27,56	220,47	0,16	34,72	89	126	154
Puerta simple	82,68	35,43	236,22	0,16	37,20	96	135	165
Puerta simple	82,68	39,37	244,09	0,16	38,44	99	140	171
Puerta simple	82,68	47,24	259,84	0,16	40,92	105	149	182
Puerta simple	82,68	59,06	283,46	0,16	44,64	115	162	199
Puerta doble	82,68	23,62	212,60	0,16	33,48	86	122	149
Puerta doble	82,68	29,53	224,41	0,16	35,34	91	128	157

**Tabla D.2 Resultados de climatización para grupo 1 [Elaboración propia]**

Zona	Nombre del cuarto	Planta	Área (ft <sup>2</sup> )	Diferencial de presión (in. W. C.)	Infiltración (cfm)	Exfiltración (cfm)	ACH $\left(\frac{1}{h}\right)$	CFM ACH (cfm)	Carga sensible $\left(\frac{Btu}{h}\right)$	CFM Cargas térmicas (cfm)	CFM crítico por
14	Esclusa Semisólidos	Baja	17,98	+ 0,0201	100	100	20	51	1002	61	Cargas térmicas
15	Área Semisólidos	Baja	233,79	+ 0,0402	0	200	25	828	12511	579	ACH

Zona	Nombre del cuarto	Planta	Área ( <i>ft</i> <sup>2</sup> )	Diferencial de presión ( <i>in. W. C.</i> )	Infiltración ( <i>cfm</i> )	Exfiltración ( <i>cfm</i> )	ACH $\left(\frac{1}{h}\right)$	CFM ACH ( <i>cfm</i> )	Carga sensible $\left(\frac{Btu}{h}\right)$	CFM Cargas térmicas ( <i>cfm</i> )	CFM crítico por
34	Preparación Semisólidos	Alta	75,46	+ 0,0402	0	170	25	267	5047	210	ACH
35	Esclusa Semisólidos	Alta	19,91	+ 0,0201	310	0	20	56	1332	56	ACH

**Tabla D.3 Resultados de climatización para grupo 2 [Elaboración propia]**

Zona	Nombre del cuarto	Planta	Área ( <i>ft</i> <sup>2</sup> )	Diferencial de presión ( <i>in. W. C.</i> )	Infiltración ( <i>cfm</i> )	Exfiltración ( <i>cfm</i> )	ACH $\left(\frac{1}{h}\right)$	CFM ACH ( <i>cfm</i> )	Carga sensible $\left(\frac{Btu}{h}\right)$	CFM Cargas térmicas ( <i>cfm</i> )	CFM crítico por
17	Área Líquidos	Baja	251,01	+ 0,0402	0	200	30	1067	13432	622	ACH
18	Esclusa Líquidos	Baja	39,83	+ 0,0201	100	100	20	113	2220	99	ACH
36	Esclusa Líquidos	Alta	19,91	- 0,0201	100	100	20	56	1349	56	ACH
37	Preparación Líquidos	Alta	160,00	+ 0,0402	0	100	30	680	10836	446	ACH

**Tabla D.4 Resultados de climatización para grupo 3 [Elaboración propia]**

Zona	Nombre del cuarto	Planta	Área ( <i>ft</i> <sup>2</sup> )	Diferencial de presión ( <i>in. W. C.</i> )	Infiltración ( <i>cfm</i> )	Exfiltración ( <i>cfm</i> )	ACH $\left(\frac{1}{h}\right)$	CFM ACH ( <i>cfm</i> )	Carga sensible $\left(\frac{Btu}{h}\right)$	CFM Cargas térmicas ( <i>cfm</i> )	CFM crítico por
9	Área Lavado Polvos	Baja	69,97	+ 0,0201	0	100	20	198	4056	173	ACH

Zona	Nombre del cuarto	Planta	Área ( <i>ft</i> <sup>2</sup> )	Diferencial de presión ( <i>in. W. C.</i> )	Infiltración ( <i>cfm</i> )	Exfiltración ( <i>cfm</i> )	ACH $\left(\frac{1}{h}\right)$	CFM ACH ( <i>cfm</i> )	Carga sensible $\left(\frac{Btu}{h}\right)$	CFM Cargas térmicas ( <i>cfm</i> )	CFM crítico por
10	Esclusa Cremas	Baja	19,38	+ 0,0201	100	100	20	55	1296	48	ACH
11	Área Cremas	Baja	109,04	+ 0,0402	0	100	25	386	6240	270	ACH
12	Esclusa Polvos	Baja	19,38	+ 0,0201	100	100	20	55	1109	48	ACH
13	Área Polvos	Baja	102,36	+ 0,0402	0	100	25	363	5934	254	ACH

**Tabla D.5 Resultados de climatización para grupo 4 [Elaboración propia]**

Zona	Nombre del cuarto	Planta	Área ( <i>ft</i> <sup>2</sup> )	Diferencial de presión ( <i>in. W. C.</i> )	Infiltración ( <i>cfm</i> )	Exfiltración ( <i>cfm</i> )	ACH $\left(\frac{1}{h}\right)$	CFM ACH ( <i>cfm</i> )	Carga sensible $\left(\frac{Btu}{h}\right)$	CFM Cargas térmicas ( <i>cfm</i> )	CFM crítico por
6	Pasillo	Baja	494,49	+ 0,0201	1000	200	15	1051	30504	1225	Cargas Térmicas
16	Bodega Frasco	Baja	123,46	+ 0,0201	200	100	15	262	7605	325	Cargas Térmicas
19	Área Supervisor	Baja	39,50	+ 0,0201	0	100	15	84	2290	98	Cargas Térmicas
20	Área Control	Baja	52,64	+ 0,0201	0	100	15	112	3012	131	Cargas Térmicas
1	Esclusa Hombres	Baja	64,58	No Aplica	0	200	20	183	3888	160	ACH
2	Esclusa Mujeres	Baja	63,51	No Aplica	0	200	20	180	3682	157	ACH

**Tabla D.6 Resultados de climatización para grupo 5 [Elaboración propia]**

Zona	Nombre del cuarto	Planta	Área ( $ft^2$ )	Diferencial de presión ( <i>in. W. C.</i> )	Infiltración ( <i>cfm</i> )	Exfiltración ( <i>cfm</i> )	ACH $\left(\frac{1}{h}\right)$	CFM ACH ( <i>cfm</i> )	Carga sensible $\left(\frac{Btu}{h}\right)$	CFM Cargas térmicas ( <i>cfm</i> )	CFM crítico por
7	Empaque	Baja	521,73	No Aplica	0	0	15	1109	36316	1495	Cargas Térmicas
8	Bodega	Baja	455,85	No Aplica	0	0	15	969	36845	1412	Cargas Térmicas
3	Casilleros Mujeres	Baja	59,63	No Aplica	0	0	15	127	3457	148	Cargas Térmicas
4	Casilleros Hombres	Baja	62,97	No Aplica	0	0	15	134	3650	156	Cargas Térmicas
5	Casilleros	Baja	60,39	No Aplica	0	0	15	128	3635	150	Cargas Térmicas

**Tabla D.7 Resultados de climatización para grupo 6 [Elaboración propia]**

Zona	Nombre del cuarto	Planta	Área ( $ft^2$ )	Diferencial de presión ( <i>in. W. C.</i> )	Infiltración ( <i>cfm</i> )	Exfiltración ( <i>cfm</i> )	ACH $\left(\frac{1}{h}\right)$	CFM ACH ( <i>cfm</i> )	Carga sensible $\left(\frac{Btu}{h}\right)$	CFM Cargas térmicas ( <i>cfm</i> )	CFM crítico por
30	Bodega General	Alta	1132,90	No Aplica	200	200	15	2407	92620	3508	Cargas Térmicas
46	Cuarto de Osmosis	Alta	187,83	No Aplica	110	0	15	399	15356	582	Cargas Térmicas

**Tabla D.8 Resultados de climatización para grupo 7 [Elaboración propia]**

Zona	Nombre del cuarto	Planta	Área ( $ft^2$ )	Diferencial de presión ( <i>in. W. C.</i> )	Infiltración ( <i>cfm</i> )	Exfiltración ( <i>cfm</i> )	ACH $\left(\frac{1}{h}\right)$	CFM ACH ( <i>cfm</i> )	Carga sensible $\left(\frac{Btu}{h}\right)$	CFM Cargas térmicas ( <i>cfm</i> )	CFM crítico por
29	Pasillo	Alta	267,27	+ 0,0201	400	490	15	568	20243	750	Cargas Térmicas
40	Esclusa Bodega Corredor	Alta	24,22	+ 0,0201	0	200	20	69	1661	200	Cargas Térmicas
41	Esclusa Dispensado	Alta	19,27	+ 0,0402	0	270	20	55	1321	68	Cargas Térmicas
42	Dispensado	Alta	41,76	+ 0,0201	170	0	15	89	2898	54	ACH
43	Esclusa Salida Emergencia	Alta	24,54	+ 0,0201	300	100	20	70	1683	117	Cargas Térmicas
44	Corredor Elevador	Alta	127,23	+ 0,0201	0	100	15	270	8723	69	ACH
45	Salida de Emergencia	Alta	251,12	No Aplica	0	410	15	534	17637	355	ACH
33	Área de Lavado	Alta	53,50	+ 0,0201	100	0	15	114	3623	700	Cargas Térmicas
25	Casilleros Hombres	Alta	69,53	No Aplica	0	200	15	148	4651,2	172	Cargas Térmicas
26	Casilleros Mujeres	Alta	69,86	No Aplica	0	200	15	148	4672,8	173	Cargas Térmicas

**Tabla D.9 Resultados de climatización para grupo 8 [Elaboración propia]**

Zona	Nombre del cuarto	Planta	Área ( $ft^2$ )	Diferencial de presión ( <i>in. W. C.</i> )	Infiltración ( <i>cfm</i> )	Exfiltración ( <i>cfm</i> )	ACH $\left(\frac{1}{h}\right)$	CFM ACH ( <i>cfm</i> )	Carga sensible $\left(\frac{Btu}{h}\right)$	CFM Cargas térmicas ( <i>cfm</i> )	CFM crítico por
31	Control de Calidad	Alta	138,85	+ 0,0402	360	0	30	590	10578	430	ACH
32	Cuarto de Estabilidad	Alta	53,39	+ 0,0201	0	100	20	151	3571	200	Cargas Térmicas

Zona	Nombre del cuarto	Planta	Área ( <i>ft</i> <sup>2</sup> )	Diferencial de presión ( <i>in. W. C.</i> )	Infiltración ( <i>cfm</i> )	Exfiltración ( <i>cfm</i> )	ACH $\left(\frac{1}{h}\right)$	CFM ACH ( <i>cfm</i> )	Carga sensible $\left(\frac{Btu}{h}\right)$	CFM Cargas térmicas ( <i>cfm</i> )	CFM crítico por
38	Esclusa Microbiológico	Alta	20,88	- 0,0201	190	110	30	89	1379	58	ACH
39	Laboratorio Microbiológico	Alta	103,76	+ 0,0402	0	190	30	441	7114	289	ACH

**Tabla D.10 Resultados de climatización para grupo 9 [Elaboración propia]**

Zona	Nombre del cuarto	Planta	Área ( <i>ft</i> <sup>2</sup> )	Diferencial de presión ( <i>in. W. C.</i> )	Infiltración ( <i>cfm</i> )	Exfiltración ( <i>cfm</i> )	ACH $\left(\frac{1}{h}\right)$	CFM ACH ( <i>cfm</i> )	Carga sensible $\left(\frac{Btu}{h}\right)$	CFM Cargas térmicas ( <i>cfm</i> )	CFM crítico por
27	Exclusa (Bodega-Elevador)	Alta	31,22	No Aplica	0	0	20	88	2407	97	Cargas Térmicas
22	Pasillo	Alta	211,73	No Aplica	200	0	15	450	15539	525	Cargas Térmicas
24	Oficina de Mantenimiento	Alta	55,43	No Aplica	0	0	15	118	325	172	Cargas Térmicas

**Tabla D.11 Resultados de climatización para grupo 10 [Elaboración propia]**

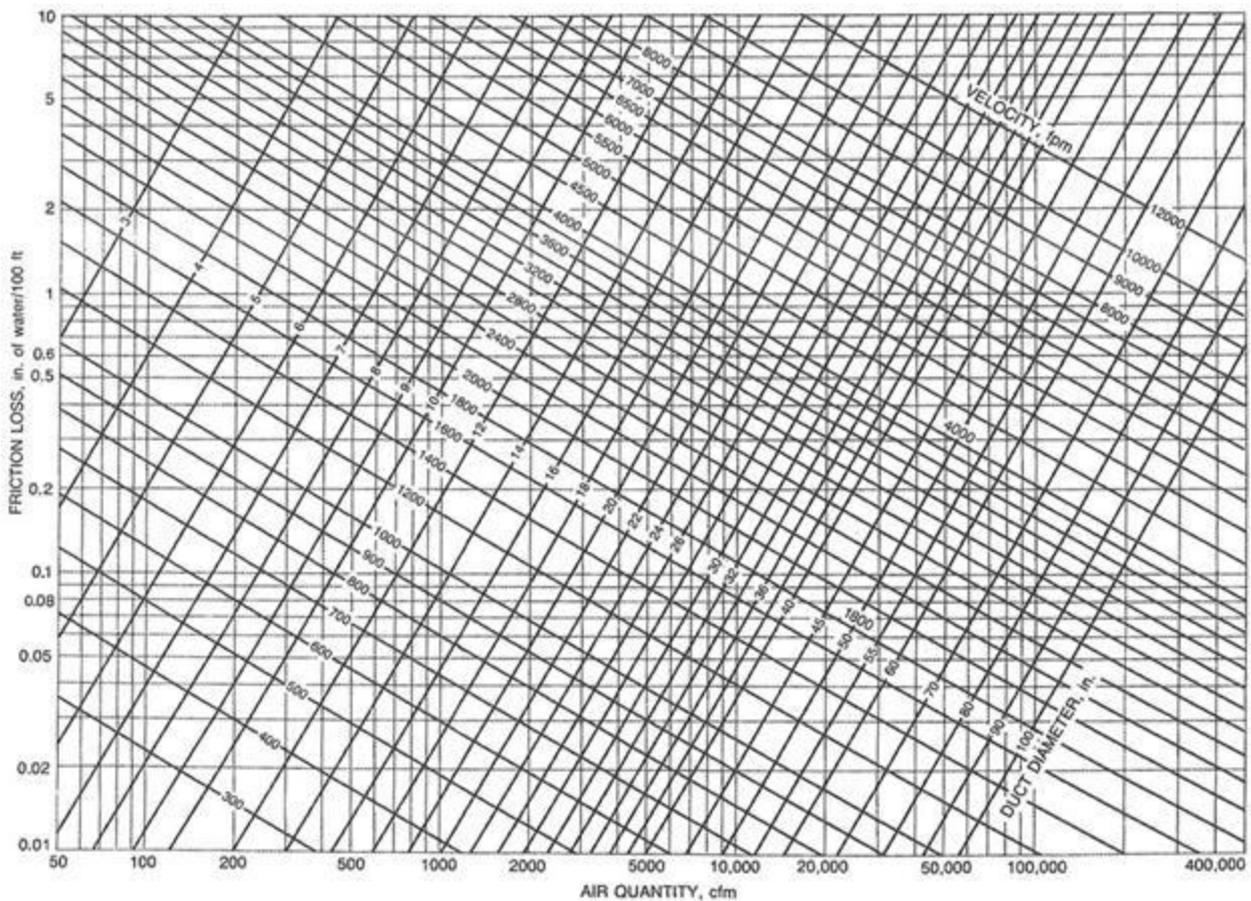
Zona	Nombre del cuarto	Planta	Área ( <i>ft</i> <sup>2</sup> )	Diferencial de presión ( <i>in. W. C.</i> )	Infiltración ( <i>cfm</i> )	Exfiltración ( <i>cfm</i> )	ACH $\left(\frac{1}{h}\right)$	CFM ACH ( <i>cfm</i> )	Carga sensible $\left(\frac{Btu}{h}\right)$	CFM Cargas térmicas ( <i>cfm</i> )	CFM crítico por
23	Rack	Alta	59,42	No Aplica	0	0	15	126	4471	184	Cargas Térmicas
21	Baño	Alta	20,99	No Aplica	0	0	12	36	1264	52	Cargas Térmicas

## APÉNDICE E

### MEMORIA DE CÁLCULOS DE VENTILACIÓN MECÁNICA

**Tabla E.1 Recomendación de velocidades máximas (fpm) en ductos principales y derivaciones [Carrier Air Conditioning Co., s.f., págs. 2-37]**

APPLICATION	CONTROLLING FACTOR NOISE GENERATION Main Ducts	CONTROLLING FACTOR – DUCT FRICTION			
		Main Ducts		Branch Ducts	
		Supply	Return	Supply	Return
Apartments Hotel Bedrooms Hospital Bedrooms	1000	1500	1300	1200	1000
Industrial	2500	3000	1800	2200	1500



**Figura E.1 Diagrama de pérdidas de fricción en ductos de aire [ASHRAE, 2017]**

**Tabla E.2 Resultados de dimensionamiento de ductos de suministro para grupo 1 [Elaboración propia]**

<b>Elemento</b>	<b>Tipo</b>	<b>Caudal de aire (<i>cfm</i>)</b>	<b>Velocidad de diseño (<i>fpm</i>)</b>	<b>Medidas del ducto (<i>in x in</i>)</b>	<b>Medidas de difusores de 4 vías (<i>in x in</i>)</b>	<b>Diámetro equivalente (<i>in</i>)</b>	<b>Diámetro hidráulico (<i>in</i>)</b>	<b>C</b>	<b>Longitud equivalente (<i>ft</i>)</b>	<b>Longitud del ducto (<i>ft</i>)</b>
1	Ducto	1300	1200,0	16 x 12	-	15,11	0,14	-	-	32,81
2	Branch	-	-	-	-	-	-	0,50	13,23	-
3	Reducción	-	-	10 x 8	-	9,76	0,09	0,58	15,34	-
4	Ducto	370	878,1	10 x 8	6 x 6	9,76	0,09	-	-	18,04
5	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,19	4,52	-
6	Ducto	235	783,8	8 x 8	-	8,75	0,08	-	-	1,97
7	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,44	7,86	-
8	U - Derivación	100	631,3	6 x 6	6 x 6	6,56	0,06	-	-	2,95
9	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,56	8,89	0,66
10	Ducto	135	681,4	8 x 4	6 x 6	6,09	0,05	-	-	3,77
11	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,19	6,96	-
12	Ducto	930	1103,4	16 x 10	-	13,73	0,12	-	-	13,12
13	Codo	-	-	-	-	-	-	0,20	3,57	-
14	Ducto	930	1103,4	16 x 10	-	13,73	0,12	-	-	11,81
15	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,76	13,57	-
16	L - Derivación	100	631,3	6 x 6	6 x 6	6,56	0,06	-	-	2,62
17	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,25	7,94	-
18	Ducto	830	1072,9	16 x 8	12 x 12	12,19	0,11	-	-	8,86
19	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,33	8,57	-

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
20	Ducto	415	903,6	16 x 6	12 x 12	10,41	0,09	-	-	8,86
<b>Total</b>									90,45	105,48

**Tabla E.3 Resultados de dimensionamiento de ductos de suministro para grupo 2 [Elaboración propia]**

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
1	Ducto	1960	1317,3	16 x 14	-	16,35	0,15	-	-	32,81
2	Branch	-	-	-	-	-	-	0,50	15,87	-
3	Reducción	-	-	16 x 8	-	12,19	0,11	0,49	15,56	-
4	Ducto	790	1054,4	16 x 8	10 x 10	12,19	0,11	-	-	17,06
5	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,09	2,73	-
6	Ducto	445	914,6	14 x 8	-	11,46	0,10	-	-	2,62
7	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,65	11,61	-
8	L - Derivación	100	627,9	6 x 6	6 x 6	6,56	0,06	-	-	3,94
9	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,32	8,00	-
10	Ducto	345	858,4	14 x 6	10 x 10	9,80	0,08	-	-	3,61

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
11	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,32	11,72	-
12	Ducto	1170	1161,3	16 x 10	-	13,73	0,12	-	-	13,12
13	Codo	-	-	-	-	-	-	0,20	7,33	-
14	Ducto	1170	1161,3	16 x 10	-	13,73	0,12	-	-	17,06
15	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,76	13,57	-
16	U - Derivación	100	627,9	6 x 6	6 x 6	6,56	0,06	-	-	8,20
17	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,25	7,94	-
18	Ducto	1070	1136,1	16 x 8	12 x 12	12,19	0,11	-	-	3,61
19	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,33	8,57	-
20	Ducto	535	957,5	16 x 6	12 x 12	10,41	0,09	-	-	8,53
<b>Total</b>									102,89	110,56

**Tabla E.4 Resultados de dimensionamiento de ductos de suministro para grupo 3 [Elaboración propia]**

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
1	Ducto	1160	1158,8	16 x 10	8 x 8 6 x 6	13,73	0,12	-	-	45,55
2	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,50	12,99	-
3	Ducto	860	1076,7	16 x 6	10 x 10	10,41	0,09	-	-	4,92
4	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,46	8,76	-
5	Ducto	470	927,1	16 x 4	6 x 6 10 x 10	8,27	0,06	-	-	10,89
<b>Total</b>									21,75	61,36

**Tabla E.5 Resultados de dimensionamiento de ductos de suministro para grupo 4 [Elaboración propia]**

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
1	Ducto	2580	1400	18 x 16	-	18,54	0,17	-	-	64,63
2	Branch	-	-	-	-	-	-	0,32	14,22	-
3	Reducción	-	-	14 x 16	-	16,35	0,15	0,12	5,00	-

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
4	Ducto	1355	1194,2	14 x 14	-	15,30	0,14	-	-	3,28
5	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,49	14,58	-
6	D - Derivación	330	842,1	10 x 10	8 x 8	10,93	0,10	-	-	3,94
7	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,15	5,77	-
8	Ducto	1025	1115,2	14 x 12	6 x 6	14,16	0,13	-	-	3,28
9	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,14	5,00	-
10	Ducto	900	1080,1	12 x 12	6 x 6	13,12	0,12	-	-	8,20
11	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,17	5,52	-
12	Ducto	775	1041,0	12 x 10	-	11,96	0,11	-	-	4,10
13	Codo	-	-	-	-	-	-	0,20	6,49	-
14	Ducto	775	1041,0	12 x 10	6 x 6	11,96	0,11	-	-	4,27
15	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,16	4,76	-
16	Ducto	650	996,7	10 x 10	6 x 6	10,93	0,10	-	-	6,40
17	Branch	525	945,3	10 x 10	-	10,93	0,10	0,50	7,94	-
18	Reducción	-	-	8 x 4	-	6,09	0,05	0,72	11,43	-
19	D - Derivación	125	659,3	8 x 4	6 x 6	6,09	0,05	-	-	4,27
20	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,21	5,56	-
21	Ducto	400	883,5	10 x 8	-	9,76	0,09	-	-	2,95
22	Codo	-	-	-	-	-	-	0,20	5,29	-

<b>Elemento</b>	<b>Tipo</b>	<b>Caudal de aire (<i>cfm</i>)</b>	<b>Velocidad de diseño (<i>fpm</i>)</b>	<b>Medidas del ducto (<i>in x in</i>)</b>	<b>Medidas de difusores de 4 vías (<i>in x in</i>)</b>	<b>Diámetro equivalente (<i>in</i>)</b>	<b>Diámetro hidráulico (<i>in</i>)</b>	<b>C</b>	<b>Longitud equivalente (<i>ft</i>)</b>	<b>Longitud del ducto (<i>ft</i>)</b>
23	Ducto	400	883,5	10 x 8	6 x 6	9,76	0,09	-	-	2,95
24	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,40	8,16	-
25	Ducto	200	724,6	8 x 6	6 x 6	7,55	0,07	-	-	7,22
26	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,12	5,00	-
27	Ducto	1225	1165,1	14 x 14	6 x 6	15,30	0,14	-	-	3,28
28	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,15	5,77	-
29	Ducto	1100	1134,7	14 x 12	6 x 6	14,16	0,13	-	-	9,51
30	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,14	5,00	-
31	Ducto	975	1101,6	12 x 12	-	13,12	0,12	-	-	6,23
32	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,56	13,33	-
33	D - Derivación	125	659,3	8 x 8	6 x 6	8,75	0,08	-	-	3,61
34	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,17	5,52	-
35	Ducto	850	1065,0	12 x 10	-	11,96	0,11	-	-	2,30
36	Codo	-	-	-	-	-	-	0,20	6,49	-
37	Ducto	850	1065,0	12 x 10	6 x 6	11,96	0,11	-	-	2,62
38	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,16	4,76	-
39	Ducto	550	10,3	10 x 10	-	10,93	0,10	-	-	5,25
40	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,36	8,57	-
41	U - Derivación	125	659,3	8 x 8	6 x 6	8,75	0,08	-	-	7,55

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
42	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,21	5,56	-
43	Ducto	425	897,0	8 x 10	6 x 6	9,76	0,09	-	-	4,92
44	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,59	10,03	-
45	Ducto	125	659,3	4 x 10	-	6,74	0,06	-	-	7,55
46	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,49	11,67	-
47	U - Derivación	125	659,3	8 x 8	6 x 6	8,75	0,08	-	-	4,27
<b>Total</b>									181,43	172,57

**Tabla E.6 Resultados de dimensionamiento de ductos de suministro para grupo 5 [Elaboración propia]**

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
1	Ducto	3350	1504,0	20 x 18	-	20,73	0,19	-	-	66,70
2	Codo	-	-	-	-	-	-	0,20	11,28	-
3	Ducto	3350	1504,0	20 x 18	-	20,73	0,19	-	-	5,45
4	I - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,72	21,43	-
5	I - Derivación	300	828,9	10 x 10	10 x 10	10,93	0,10	-	-	3,28

<b>Elemento</b>	<b>Tipo</b>	<b>Caudal de aire (<i>cfm</i>)</b>	<b>Velocidad de diseño (<i>fpm</i>)</b>	<b>Medidas del ducto (<i>in x in</i>)</b>	<b>Medidas de difusores de 4 vías (<i>in x in</i>)</b>	<b>Diámetro equivalente (<i>in</i>)</b>	<b>Diámetro hidráulico (<i>in</i>)</b>	<b>C</b>	<b>Longitud equivalente (<i>ft</i>)</b>	<b>Longitud del ducto (<i>ft</i>)</b>
6	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,12	6,35	-
7	Ducto	3050	1466,7	20 x 16	-	19,52	0,18	-	-	7,02
8	D - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,68	20,24	-
9	D - Derivación	350	861,5	10 x 10	10 x 10	10,93	0,10	-	-	6,23
10	I - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,68	20,24	-
11	I - Derivación	300	828,9	10 x 10	10 x 10	10,93	0,10	-	-	3,28
12	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,14	6,86	-
13	Ducto	2400	1383,9	20 x 14	-	18,22	0,16	-	-	9,19
14	D - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,63	18,75	-
15	D - Derivación	350	861,5	10 x 10	10 x 10	10,93	0,10	-	-	6,23
16	I - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,63	18,75	-
17	I - Derivación	300	828,9	10 x 10	10 x 10	10,93	0,10	-	-	3,28
18	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,24	10,29	-
19	Ducto	1750	1281,4	18 x 12	-	15,98	0,14	-	-	5,81
20	D - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,52	15,48	-
21	D - Derivación	350	861,5	10 x 10	10 x 10	10,93	0,10	-	-	6,23
22	I - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,52	15,48	-
23	I - Derivación	300	828,9	10 x 10	10 x 10	10,93	0,10	-	-	3,28
24	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,31	11,07	-

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
25	Ducto	1100	1143,8	12 x 12	-	13,12	0,12	-	-	4,92
26	I - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,31	9,23	-
27	I - Derivación	300	828,9	10 x 10	10 x 10	10,93	0,10	-	-	3,28
28	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,17	5,52	-
29	Ducto	800	1057,6	10 x 12	-	11,96	0,11	-	-	3,28
30	D - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,16	4,76	-
31	D - Derivación	350	861,5	10 x 10	10 x 10	10,93	0,10	-	-	4,92
32	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,17	4,50	-
33	Ducto	450	917,2	8 x 10	-	9,76	0,09	-	-	5,74
34	D - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,19	4,52	-
35	D - Derivación	150	696,10	8 x 8	6 x 6	8,75	0,08	-	-	6,07
36	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,19	4,52	-
37	Codo	-	-	8 x 8	-	8,75	0,08	0,20	4,76	-
38	Ducto	300	828,90	8 x 8	6 x 6	8,75	0,08	-	-	4,36
39	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,56	8,89	-
40	Ducto	150	696,10	8 x 4	6 x 6	6,09	0,05	-	-	9,51
<b>Total</b>									222,91	158,56

**Tabla E.7 Resultados de dimensionamiento de ductos de suministro para grupo 6 [Elaboración propia]**

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
1	Ducto	4100	1550,0	22 x 20	12 x 12	22,92	0,21	-	-	66,77
2	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,09	5,36	-
3	Ducto	3510	1550,0	20 x 20	-	21,86	0,20	-	-	1,48
4	Codo	-	-	-	-	-	-	0,20	11,90	-
5	Ducto	3510	1496,5	20 x 20	-	21,86	0,20	-	-	2,79
6	I - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,75	22,32	-
7	I - Derivación	293	912,8	10 x 10	10 x 10	10,93	0,10	-	-	13,25
8	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,10	5,64	-
9	Ducto	3218	1467,1	20 x 18	10 x 10	20,73	0,19	-	-	4,10
10	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,12	6,35	-
11	Ducto	2925	1435,6	20 x 16	-	19,52	0,18	-	-	2,62
12	D - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,68	20,24	-
13	D - Derivación	293	912,8	10 x 10	10 x 10	10,93	0,10	-	-	8,76
14	I - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,68	20,24	-
15	I - Derivación	293	912,8	10 x 10	10 x 10	10,93	0,10	-	-	8,76
16	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,09	4,54	-
17	Ducto	2340	1365,3	18 x 16	10 x 10	18,54	0,17	-	-	5,74

<b>Elemento</b>	<b>Tipo</b>	<b>Caudal de aire (<i>cfm</i>)</b>	<b>Velocidad de diseño (<i>fpm</i>)</b>	<b>Medidas del ducto (<i>in x in</i>)</b>	<b>Medidas de difusores de 4 vías (<i>in x in</i>)</b>	<b>Diámetro equivalente (<i>in</i>)</b>	<b>Diámetro hidráulico (<i>in</i>)</b>	<b>C</b>	<b>Longitud equivalente (<i>ft</i>)</b>	<b>Longitud del ducto (<i>ft</i>)</b>
18	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,11	5,24	-
19	Ducto	2048	1325,3	16 x 16	-	17,49	0,16	-	-	2,62
20	D - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,61	18,15	-
21	D - Derivación	293	912,8	10 x 10	10 x 10	10,93	0,10	-	-	9,19
22	I - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,61	18,15	-
23	I - Derivación	293	912,8	10 x 10	10 x 10	10,93	0,10	-	-	9,19
24	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,13	5,78	-
25	Ducto	1463	1231,5	16 x 14	10 x 10	16,35	0,15	-	-	5,41
26	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,12	5,00	-
27	Ducto	1170	1174,5	14 x 14	-	15,30	0,14	-	-	2,62
28	D - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,49	14,58	-
29	D - Derivación	293	912,8	10 x 10	10 x 10	10,93	0,10	-	-	9,19
30	I - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,49	14,58	-
31	I - Derivación	293	912,8	10 x 10	10 x 10	10,93	0,10	-	-	9,19
32	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,31	10,76	-
33	Ducto	585	1024,2	10 x 14	-	12,89	0,12	-	-	2,62
34	I - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,26	7,74	-
35	I - Derivación	293	912,8	10 x 10	10 x 10	10,93	0,10	-	-	19,69
36	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,48	12,00	-

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
37	Ducto	293	912,8	6 x 14	-	9,80	0,08	-	-	8,86
38	I - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,20	5,95	-
39	I - Derivación	293	912,8	10 x 10	10 x 10	10,93	0,10	-	-	7,87
<b>Total</b>									214,53	200,72

**Tabla E.8 Resultados de dimensionamiento de ductos de suministro para grupo 7 [Elaboración propia]**

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
1	Ducto	3190	1482,7	22 x 20	8 x 8	22,92	0,21	-	-	75,46
2	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,09	5,36	-
3	Ducto	3020	1463,2	20 x 20	-	21,86	0,20	-	-	3,28
4	L - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,80	21,16	-
5	L - Ducto	280	814,7	10 x 8	-	9,76	0,09	-	-	5,25
6	D - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,54	9,64	-
7	D - Derivación	140	684,1	6 x 6	6 x 6	6,56	0,06	-	-	3,77
8	I - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,54	9,64	-

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
9	I - Derivación	140	684,1	6 x 6	6 x 6	6,56	0,06	-	-	3,77
10	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,10	5,64	-
11	Ducto	2740	1429,1	20 x 18	8 x 8	20,73	0,19	-	-	4,92
12	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,18	9,52	-
13	Ducto	2570	1407,0	20 x 16	-	19,52	0,18	-	-	9,19
14	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,89	15,89	-
15	Ducto	170	718,5	12 x 4	8 x 8	7,31	0,06	-	-	6,73
16	Branch	-	-	-	-	-	-	0,50	25,21	-
19	Ducto	2400	1369,6	16 x 18	-	18,54	0,17	-	-	8,20
20	D - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,87	15,54	-
21	D - Derivación	100	627,9	6 x 6	6 x 6	6,56	0,06	-	-	6,56
22	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,11	5,24	-
23	Ducto	2200	1354,9	16 x 16	-	17,49	0,16	-	-	2,95
24	D - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,61	18,15	-
25	D - Derivación	350	861,5	10 x 10	10 x 10	10,93	0,10	-	-	6,56
26	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,41	18,22	-
27	Ducto	1850	1298,9	16 x 14	6 x 6	16,35	0,15	-	-	3,28
28	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,10	4,08	-
29	Ducto	1717	1275,5	16 x 12	-	15,11	0,14	-	-	3,61

<b>Elemento</b>	<b>Tipo</b>	<b>Caudal de aire (<i>cfm</i>)</b>	<b>Velocidad de diseño (<i>fpm</i>)</b>	<b>Medidas del ducto (<i>in x in</i>)</b>	<b>Medidas de difusores de 4 vías (<i>in x in</i>)</b>	<b>Diámetro equivalente (<i>in</i>)</b>	<b>Diámetro hidráulico (<i>in</i>)</b>	<b>C</b>	<b>Longitud equivalente (<i>ft</i>)</b>	<b>Longitud del ducto (<i>ft</i>)</b>
30	D - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,47	13,99	-
31	D - Derivación	300	828,9	10 x 10	10 x 10	10,93	0,10	-	-	5,74
32	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,11	4,23	-
35	Ducto	1417	1187,8	14 x 12	-	14,16	0,13	-	-	13,94
36	I - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,78	13,93	-
37	I - Derivación	150	696,1	6 x 6	6 x 6	6,56	0,06	-	-	4,10
40	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,29	9,42	-
41	Ducto	1000	1117,4	10 x 12	-	11,96	0,11	-	-	4,59
42	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,23	6,57	-
43	Ducto	600	985,4	8 x 12	-	10,66	0,10	-	-	4,59
44	D - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,08	2,38	-
45	D - Derivación	300	828,9	10 x 10	10 x 10	10,93	0,10	-	-	4,76
46	I - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,08	2,38	-
47	I - Derivación	300	828,9	10 x 10	10 x 10	10,93	0,10	-	-	4,76
48	Branch	-	-	-	-	-	-	0,34	8,99	-
49	Ducto	400	890,7	10 x 8	6 x 6	9,76	0,09	-	-	5,74
50	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,40	8,16	-
51	Ducto	267	805,1	8 x 6	6 x 6	7,55	0,07	-	-	8,20
52	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,40	6,35	-

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
53	Ducto	133	675,2	8 x 4	6 x 6	6,09	0,05	-	-	8,86
<b>Total</b>									239,71	208,83

**Tabla E.9 Resultados de dimensionamiento de ductos de suministro para grupo 8 [Elaboración propia]**

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
1	Ducto	1350	1202,7	16 x 12	-	15,11	0,14	-	-	33,56
2	Codo	-	-	-	-	-	-	0,20	8,16	-
3	Ducto	1350	1202,7	16 x 12	8 x 8	15,11	0,14	-	-	4,79
4	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,28	9,72	-
5	Ducto	900	1088,8	14 x 10	-	12,89	0,12	-	-	3,87
6	D - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,53	9,46	-
7	D - Derivación	100	627,9	6 x 6	6 x 6	6,56	0,06	-	-	5,25
8	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,24	7,27	-
9	Ducto	800	1057,0	14 x 8	8 x 8	11,46	0,10	-	-	2,99
10	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,32	8,00	-

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
11	Ducto	500	941,5	14 x 6	-	9,80	0,08	-	-	2,13
12	Codo	-	-	-	-	-	-	0,20	5,00	-
13	Ducto	500	941,5	14 x 6	8 x 8	9,80	0,08	-	-	4,10
14	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,54	9,18	-
15	Ducto	200	748,6	10 x 4	8 x 8	6,74	0,06	-	-	6,00
<b>Total</b>									56,81	62,70

**Tabla E.10 Resultados de dimensionamiento de ductos de suministro para grupo 9 [Elaboración propia]**

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
1	Ducto	800	1057,6	12 x 12	-	13,12	0,12	-	-	46,85
2	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,14	4,55	-
3	Ducto	700	1023,3	10 x 12	-	11,96	0,11	-	-	5,31
4	U - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,16	3,81	-
5	U - Derivación	200	748,6	8 x 8	8 x 8	8,75	0,08	-	-	4,59
6	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,16	4,76	-

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
7	Ducto	500	941,5	10 x 10	6 x 6	10,93	0,10	-	-	4,59
8	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,21	5,56	-
9	Ducto	400	890,7	10 x 8	6 x 6	9,76	0,09	-	-	9,71
10	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,21	4,69	-
11	Ducto	300	828,0	10 x 6	6 x 6	8,40	0,08	-	-	9,65
12	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,16	3,27	-
13	Ducto	200	748,6	8 x 6	6 x 6	7,55	0,07	-	-	7,51
14	U - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,19	3,02	-
15	U - Derivación	100	627,9	-	-	6,56	0,06	-	0,00	15,58
16	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,40	6,35	-
17	Ducto	100	627,9	8 x 4	6 x 6	6,09	0,05	-	-	3,28
<b>Total</b>									35,99	107,09

**Tabla E.11 Resultados de dimensionamiento de ductos de retorno para grupo 1 [Elaboración propia]**

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
1	Ducto	1000	1181,9	18 x 14	-	17,32	15,75	-	-	26,25
2	Branch	-	-	-	-	-	-	0,50	12,50	-
3	Reducción	-	-	6 x 14	-	9,80	8,40	0,58	14,50	-
4	Ducto	410	900,9	6 x 14	-	9,80	8,40	-	-	11,15
5	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,51	18,21	-
6	U - Derivación	410	900,9	12 x 12	12 x 12	13,12	12,00	-	-	6,23
7	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,51	13,66	-
8	Ducto	590	986,1	18 x 6	-	10,96	9,00	-	-	13,12
9	Codo	-	-	-	-	-	-	0,20	5,36	-
10	Ducto	590	986,1	18 x 6	6 x 6	10,96	9,00	-	-	12,80
<b>Total</b>									64,23	69,55

**Tabla E.12 Resultados de dimensionamiento de ductos de retorno para grupo 2 [Elaboración propia]**

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
1	Ducto	1560	1265,0	20 x 10	-	15,23	13,33	-	-	26,25
2	Branch	-	-	-	-	-	-	0,50	13,39	-
3	Reducción	-	-	18 x 6	-	10,96	9,00	0,54	14,46	-
4	Ducto	690	1019,7	18 x 6	14 x 14	10,96	9,00	-	-	13,45
5	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,60	10,20	-
6	Ducto	100	627,9	10 x 4	6 x 6	6,74	5,71	-	-	11,81
7	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,27	7,42	-
8	Ducto	870	1109,0	20 x 6	-	11,47	9,23	-	-	13,12
9	Codo	-	-	-	-	-	-	0,20	5,49	-
10	Ducto	870	1079,7	20 x 6	16 x 16	11,47	9,23	-	-	11,81
<b>Total</b>									50,97	76,44

**Tabla E.13 Resultados de dimensionamiento de ductos de retorno para grupo 3 [Elaboración propia]**

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
1	Ducto	860	1076,7	16 x 8	8 x 8 6 x 6	12,19	10,67	-	-	45,54
2	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,50	12,99	-
3	Ducto	660	1008,6	16 x 6	10 x 10	10,41	8,73	-	-	4,92
4	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,46	8,76	-
5	Ducto	370	873,5	16 x 4	6 x 6 10 x 10	8,27	6,40	-	-	10,89
<b>Total</b>									21,75	61,35

**Tabla E.14 Resultados de dimensionamiento de ductos de retorno para grupo 4 [Elaboración propia]**

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
1	Ducto	2080	1325,9	24 x 10	20 x 20	16,55	14,12	-	-	40,35
2	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,72	22,86	-

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
3	Branck	630	989,0	16 x 8	-	12,19	10,67	-	-	7,87
4	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,23	5,97	-
5	Derivación	430	899,6	16 x 6	12 x 12	10,41	8,73	-	-	3,28
6	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,24	5,36	-
7	Codo	-	-	10 x 6	-	8,40	7,50	0,20	4,46	-
8	Ducto	200	742,6	10 x 6	-	8,40	7,50	-	-	12,63
9	Codo	-	-	-	-	-	-	0,20	4,46	-
10	Ducto	200	742,6	10 x 6	6 x 6	8,40	7,50	-	-	8,20
11	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,42	7,14	-
12	Ducto	100	622,9	10 x 4	6 x 6	6,74	5,71	-	-	9,35
<b>Total</b>									50,26	81,69

**Tabla E.15 Resultados de dimensionamiento de ductos de retorno para grupo 5 [Elaboración propia]**

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
1	Ducto	2450	1390,8	24 x 12	20 x 20	18,28	16,00	-	-	38,88

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
2	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,36	12,57	-
3	Ducto	1050	1130,8	22 x 8	18 x 18	14,06	11,73	-	-	17,39
<b>Total</b>									12,57	56,27

**Tabla E.16 Resultados de dimensionamiento de ductos de retorno para grupo 6 [Elaboración propia]**

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
1	Ducto	3500	1475,6	18 x 20	14 x 14	20,73	18,95	-	-	4,53
2	Codo	-	-	-	-	-	-	0,58	32,71	-
3	Ducto	3500	1475,6	18 x 20	-	20,73	18,95	-	-	4,53
4	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,13	6,96	-
5	Ducto	2790	1396,7	18 x 18	14 x 14 14 x 14	19,68	18,00	-	-	4,53
<b>Total</b>									39,67	13,58

**Tabla E.17 Resultados de dimensionamiento de ductos de retorno para grupo 7 [Elaboración propia]**

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
1	Ducto	2190	1353,4	16 x 18	-	18,54	16,94		-	52,49
2	U - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,87	15,54	-
3	U - Derivación	100	627,9	6 x 6	6 x 6	6,56	6,00	-	-	2,62
4	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,11	5,24	-
5	Ducto	2090	1338,1	16 x 16	-	17,49	16,00		-	4,10
6	L - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,78	18,57	-
7	L - Derivación	180	729,0	8 x 8	-	8,75	8,00		-	4,92
8	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,13	5,78	-
9	Ducto	1910	1309,1	16 x 14	-	16,35	14,93		-	21,33
10	L - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,12	5,00	-
11	L - Derivación	710	1026,9	14 x 14	14 x 14	15,30	14,00		-	6,56
12	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,25	9,62	-
13	Codo	-	-	12 x 14	-	14,16	12,92	0,20	7,69	-
14	Ducto	1200	1168,5	12 x 14	-	14,16	12,92		-	3,94
15	I - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,40	11,90	-
16	I - Derivación	300	828,9	10 x 10	10 x 10	10,93	10,00		-	6,79
17	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,14	5,00	-
18	Ducto	900	1111,8	12 x 12	8 x 8	13,12	12,00		-	3,94

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
19	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,17	5,52	-
20	Ducto	630	1026,9	10 x 12	6 x 6	11,96	10,91		-	13,45
21	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,16	4,76	-
22	Ducto	450	917,2	10 x 10	-	10,93	10,00		-	10,50
23	I - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,36	8,57	-
24	I - Derivación	250	791,9	8 x 8	8 x 8	8,75	8,00		-	0,82
25	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,67	11,39	-
26	Ducto	200	748,6	10 x 4	-	6,74	5,71		-	4,92
27	Codo	-	-	-	-	-	-	0,20	3,40	-
28	Ducto	200	748,6	10 x 4	6 x 6	6,74	5,71		-	5,58
<b>Total</b>									117,98	141,96

**Tabla E.18 Resultados de dimensionamiento de ductos de retorno para grupo 8 [Elaboración propia]**

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
1	Ducto	1000	1117,4	18 x 8	-	12,86	11,08	-	-	30,18

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
2	Codo	-	-	-	-	-	-	0,20	6,59	-
3	Ducto	1000	1117,4	18 x 8	10 x 10	12,86	11,08	-	-	3,94
4	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,27	7,23	-
5	Ducto	740	1037,5	18 x 6	14 x 14	10,96	9,00	-	-	9,84
6	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,74	13,21	-
7	Ducto	100	627,9	12 x 4	-	7,31	6,00	-	-	1,31
8	Codo	-	-	-	-	-	-	0,20	3,57	-
9	Ducto	100	627,9	12 x 4	6 x 6	7,31	6,00	-	-	10,83
<b>Total</b>									30,61	56,10

**Tabla E.19 Resultados de dimensionamiento de ductos de retorno para grupo 9 [Elaboración propia]**

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
1	Ducto	600	985,1	16 x 6	12 x 12	10,41	8,73	-	-	36,09
2	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,53	9,46	-
3	Ducto	200	748,6	12 x 4	-	7,31	6,00	-	-	6,56

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
4	Codo	-	-	-	-	-	-	0,20	3,70	-
5	Ducto	200	748,6	14 x 4	8 x 8	7,81	6,22	-	-	3,28
<b>Total</b>									13,17	45,93

**Tabla E.20 Resultados de dimensionamiento de ductos de extracción #1 [Elaboración propia]**

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
1	Ducto	1700	1272,4	18 x 12	-	15,98	14,40		-	12,80
2	Codo	-	-	-	-	-	-	0,20	8,57	-
3	Ducto	1700	1272,4	18 x 12	14 x 14	15,98	14,40		-	5,74
4	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,09	3,67	-
5	Codo	-	-	16 x 12	-	15,11	13,71	0,20	8,16	-
6	Ducto	1100	1143,8	16 x 12	6 x 6	15,11	13,71		-	4,27
7	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,19	6,96	-
8	Ducto	1000	1117,4	16 x 10	6 x 6 6 x 6	13,73	12,31		-	18,54

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
9	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,25	7,94	-
10	Ducto	750	1040,9	16 x 8	-	12,19	10,67		-	7,55
11	U - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,33	8,57	-
12	U - Derivación	450	917,2	16 x 6	12 x 12	10,41	8,73		-	4,27
13	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,51	11,38	-
14	Ducto	300	828,9	10 x 6	6 x 6 - 6 x 6	8,40	7,50		-	13,12
<b>Total</b>									55,26	66,27

**Tabla E.21 Resultados de dimensionamiento de ductos de extracción #2 [Elaboración propia]**

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
1	Ducto	240	783,8	10 x 6	-	8,40	7,50		-	12,80
2	Codo	-	-	-	-	-	-	0,20	4,46	-
3	Ducto	240	783,8	10 x 6	-	8,40	7,50		-	4,59
4	D - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,57	9,69	-

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
5	D - Derivación	140	684,1	10 x 4	6 x 6 6 x 6	6,74	5,71		-	9,84
6	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,57	9,69	-
7	Ducto	100	627,9	10 x 4	-	6,74	5,71	-	-	18,86
8	Codo	-	-	-	-	-	-	0,20	3,40	-
9	Ducto	100	627,9	10 x 4	6 x 6	6,74	5,71	-	-	2,46
<b>Total</b>									27,25	48,56

**Tabla E.22 Resultados de dimensionamiento de ductos de extracción #3 [Elaboración propia]**

Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
1	Ducto	600	985,1	8 x 12	-	10,66	9,60		-	12,80
2	U - Reducción	-	-	-	8 x 8	-	-	0,31	7,38	-
3	U - Derivación	180	729,0	8 x 8	-	8,75	8,00		-	3,28
4	U - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,08	2,38	-
5	U - Derivación	320	824,4	10 x 10	10 x 10	10,93	10,00		-	0,98

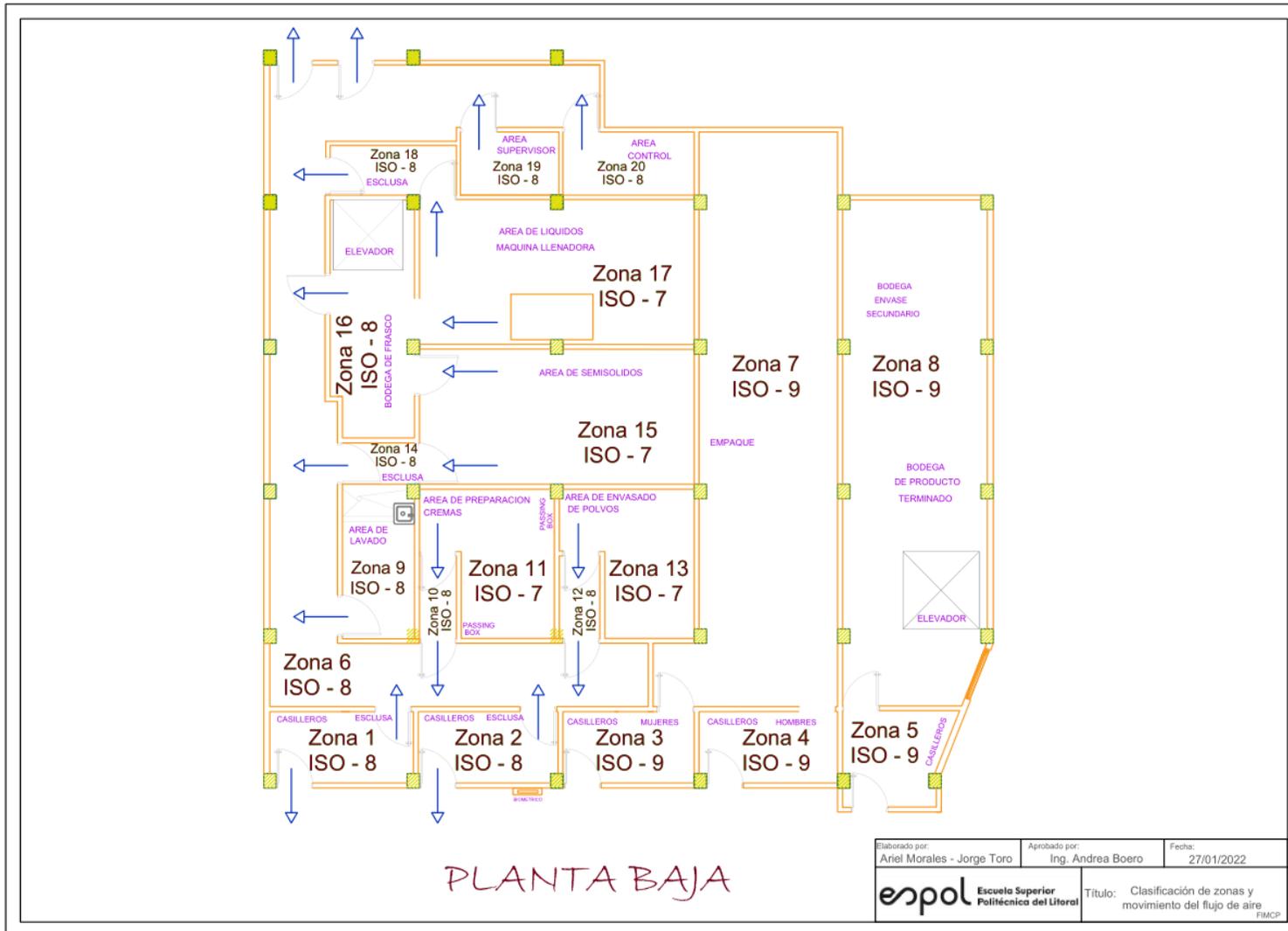
Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
6	U - Reducción	-	-	-	-	-	-	0,61	10,89	-
7	U - Derivación	100	627,9	6 x 6	6 x 6	6,56	6,00	-	-	18,86
<b>Total</b>									20,65	35,93

**Tabla E.23 Resultados de dimensionamiento de ductos de extracción #4 [Elaboración propia]**

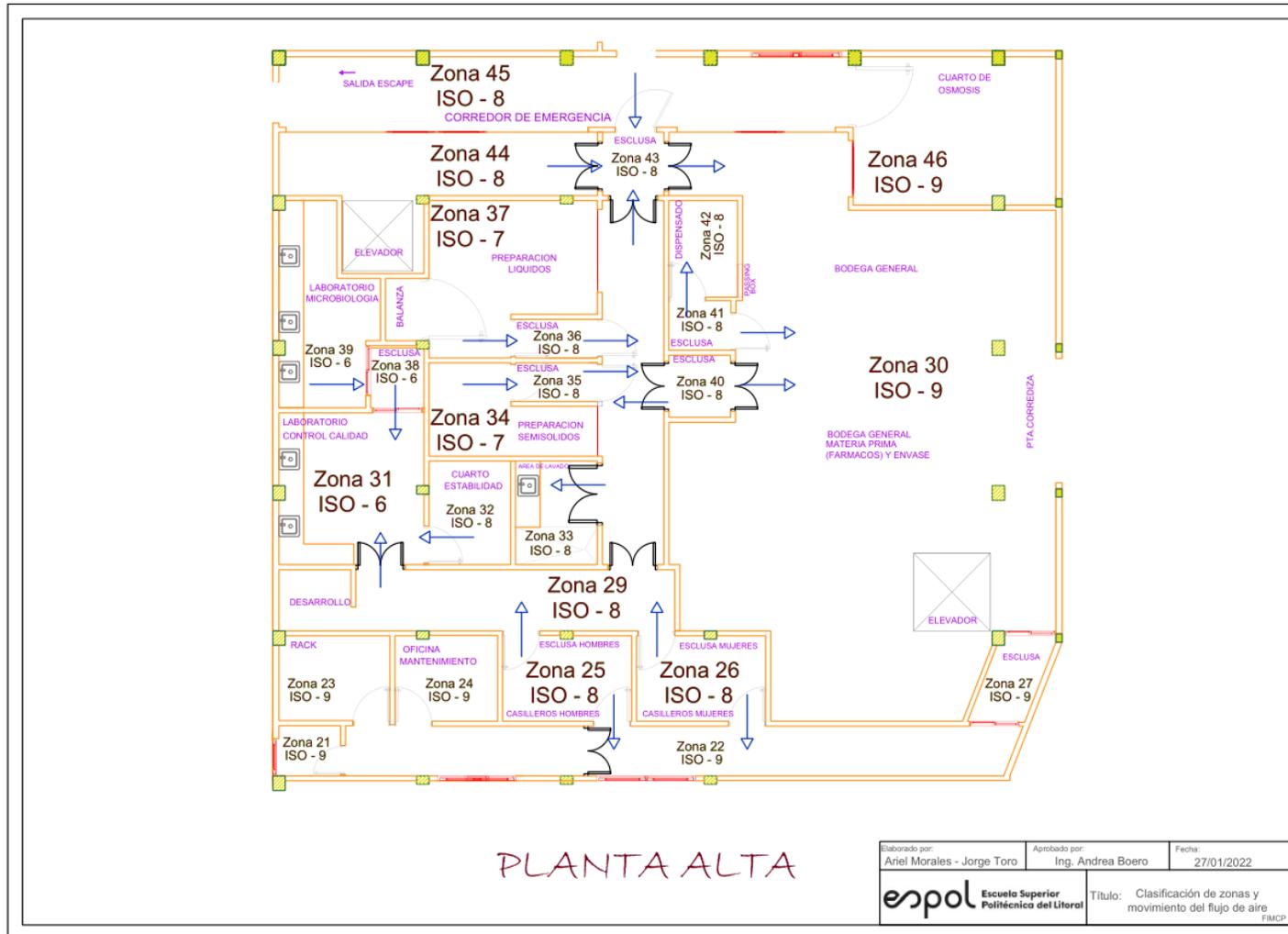
Elemento	Tipo	Caudal de aire ( <i>cfm</i> )	Velocidad de diseño ( <i>fpm</i> )	Medidas del ducto ( <i>in x in</i> )	Medidas de difusores de 4 vías ( <i>in x in</i> )	Diámetro equivalente ( <i>in</i> )	Diámetro hidráulico ( <i>in</i> )	C	Longitud equivalente ( <i>ft</i> )	Longitud del ducto ( <i>ft</i> )
1	Ducto	1160	1158,8	18 x 10	-	14,51	12,86		-	12,80
2	Codo	-	-	-	-	-	-	0,20	7,65	-
3	Ducto	1160	1158,8	18 x 10	14 x 14	14,51	12,86		-	4,59
4	Reducción	-	-	-	-	-	-	0,57	14,25	-
5	Codo 45	-	-	14 x 6	-	9,80	8,40	0,10	2,50	-
6	Ducto	450	917,2	14 x 6	6 x 6 10 x 10	9,80	8,40		-	4,59
<b>Total</b>									24,40	21,98

# APÉNDICE - PLANOS

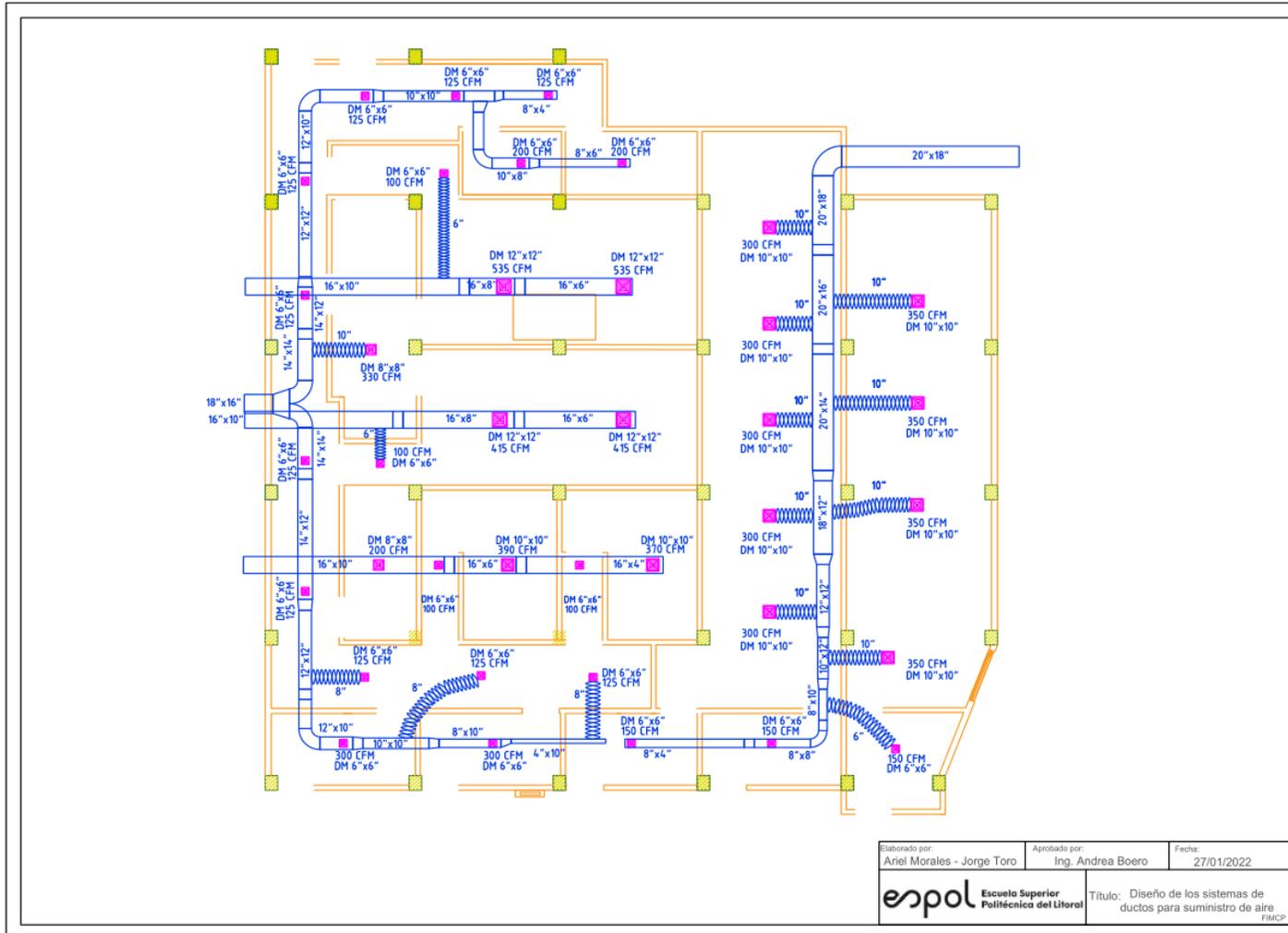
Plano 1 Clasificación de zonas y movimiento del flujo de aire, planta baja [Elaboración propia]



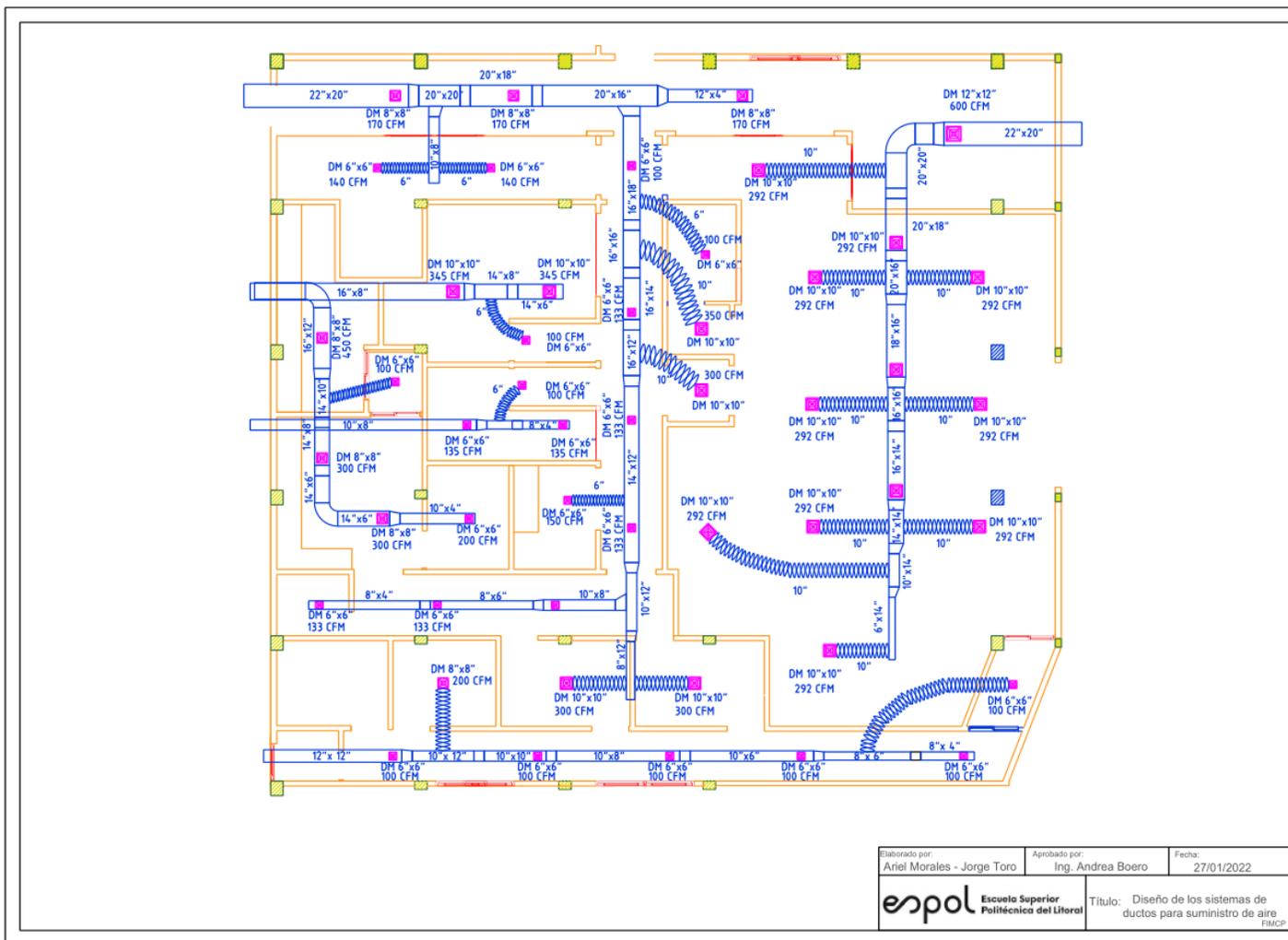
**Plano 2 Clasificación de zonas y movimiento del flujo de aire, planta alta [Elaboración propia]**



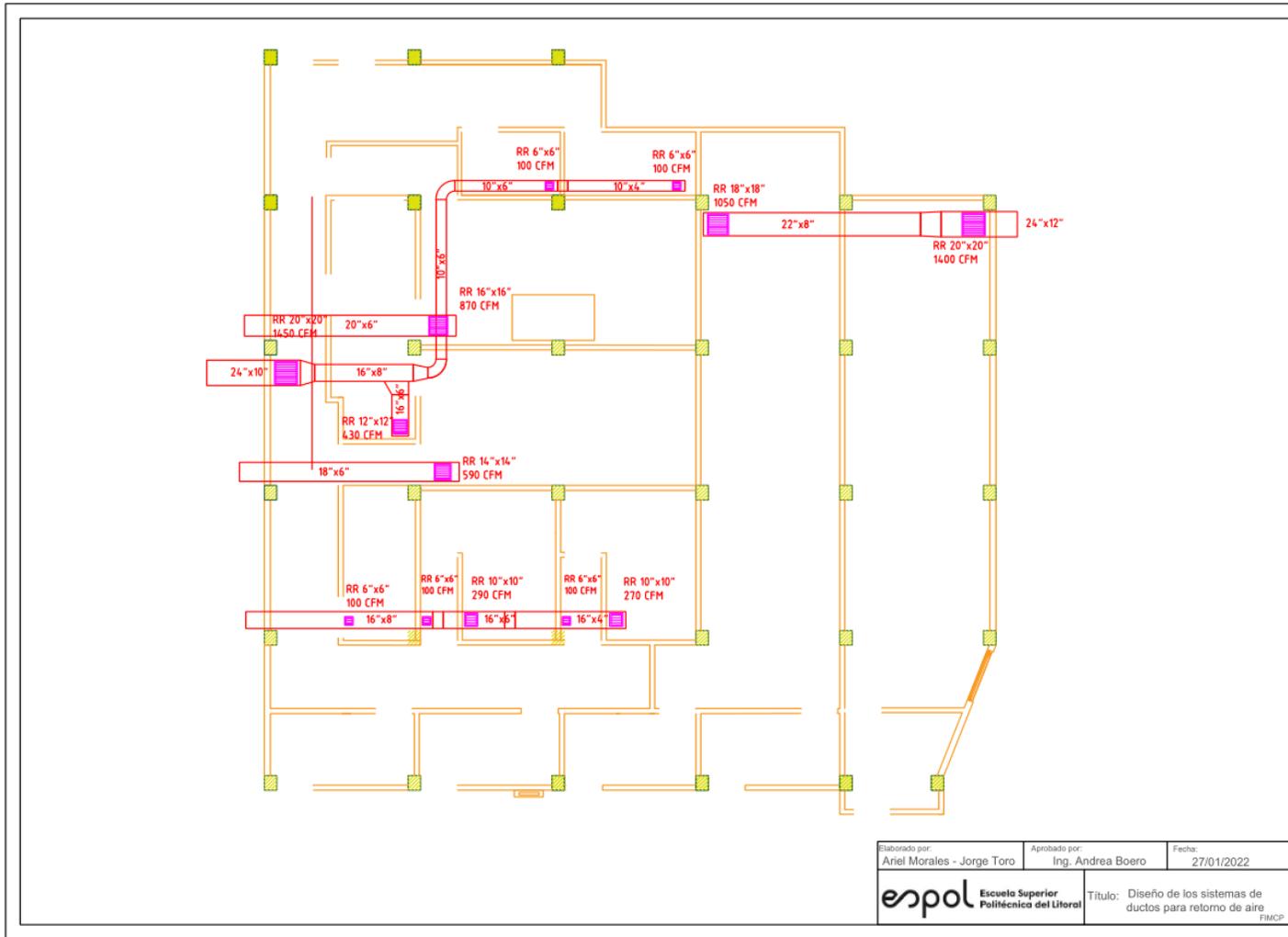
Plano 3 Diseño de los sistemas de ductos para suministro de aire, planta baja [Elaboración propia]



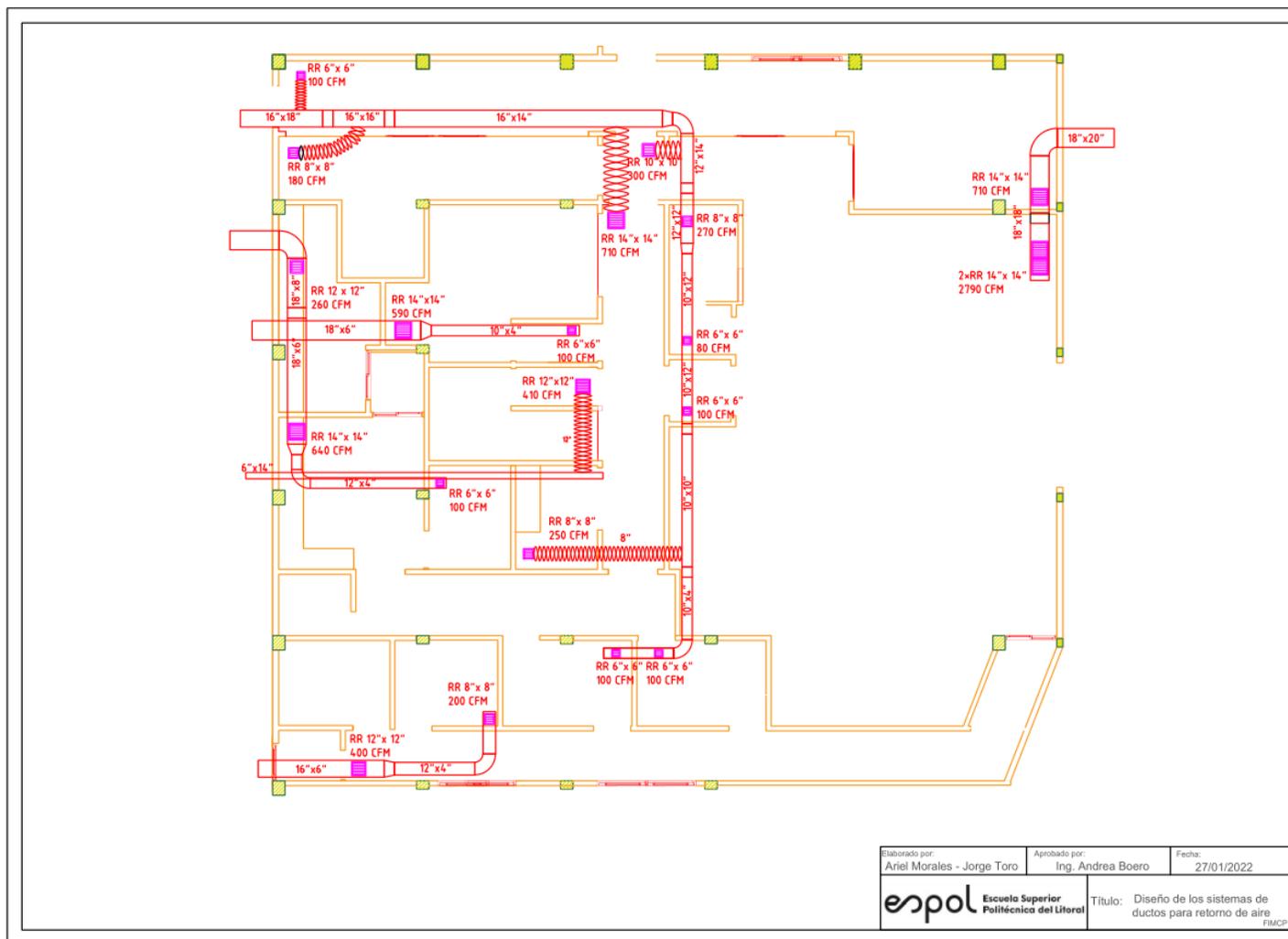
Plano 4 Diseño de los sistemas de ductos para suministro de aire, planta alta [Elaboración propia]



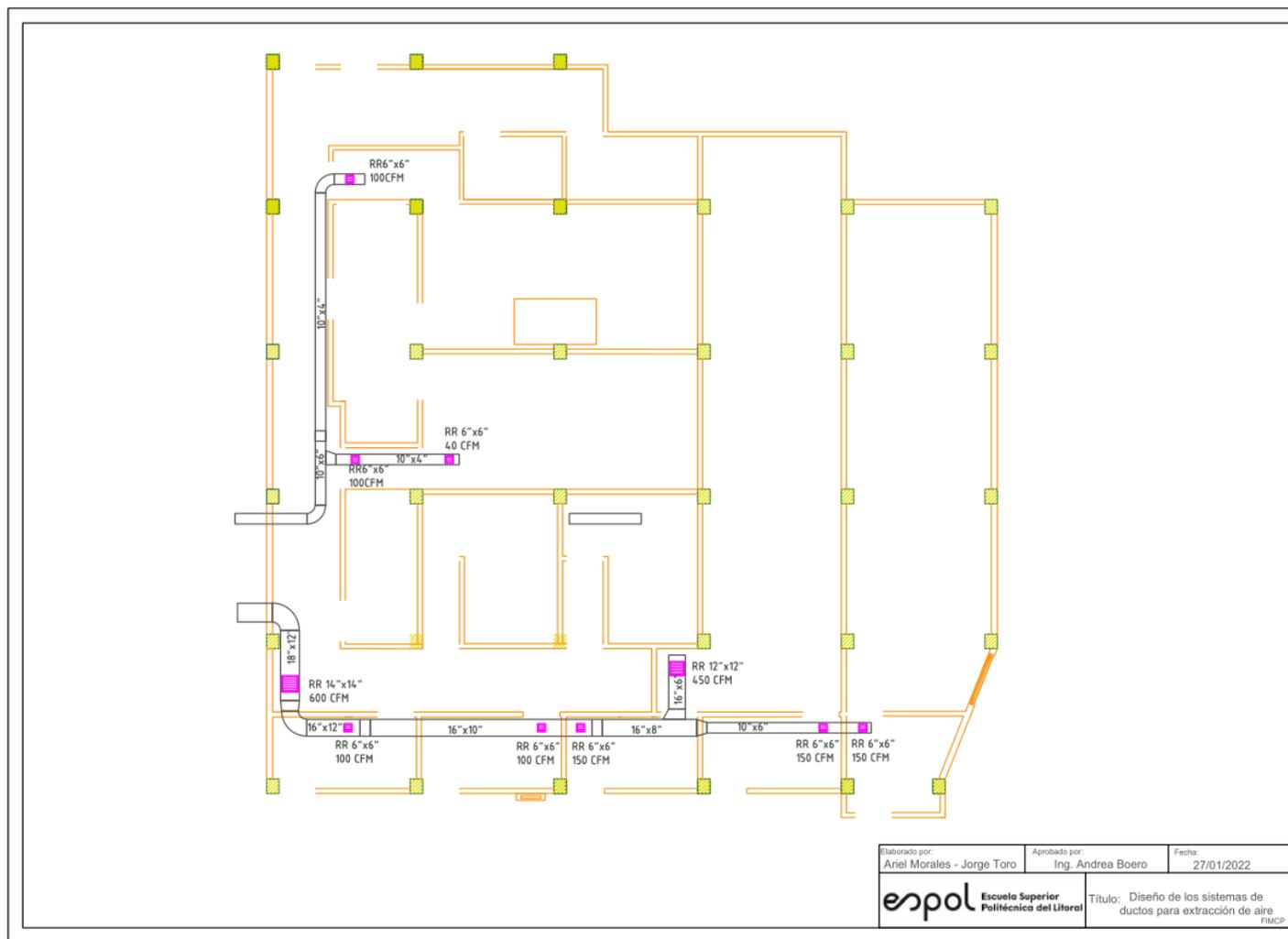
**Plano 5 Diseño de los sistemas de ductos para retorno de aire, planta baja [Elaboración propia]**



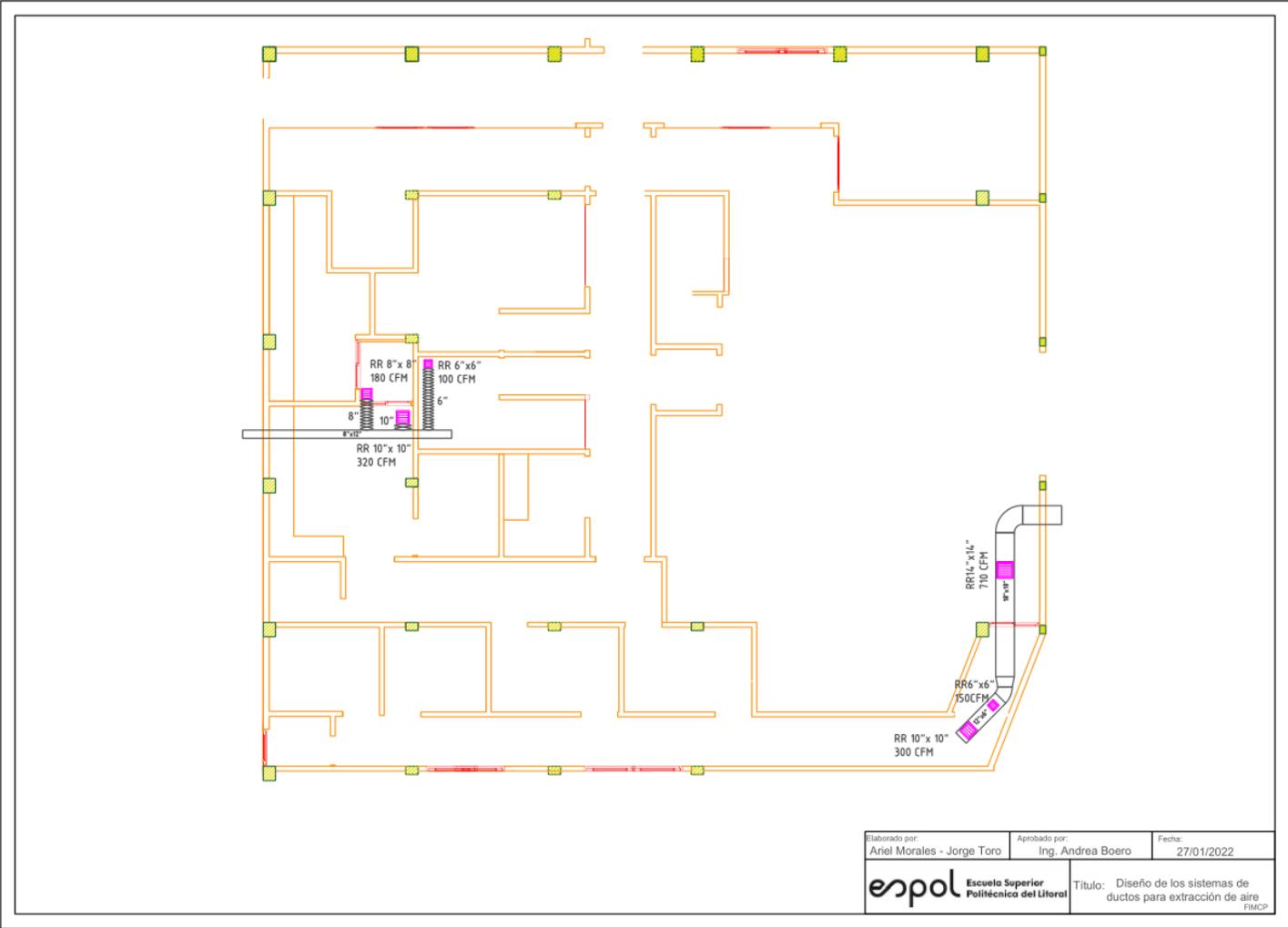
**Plano 6 Diseño de los sistemas de ductos para retorno de aire, planta alta [Elaboración propia]**



**Plano 7 Diseño de los sistemas de ductos para la extracción de aire, planta baja [Elaboración propia]**

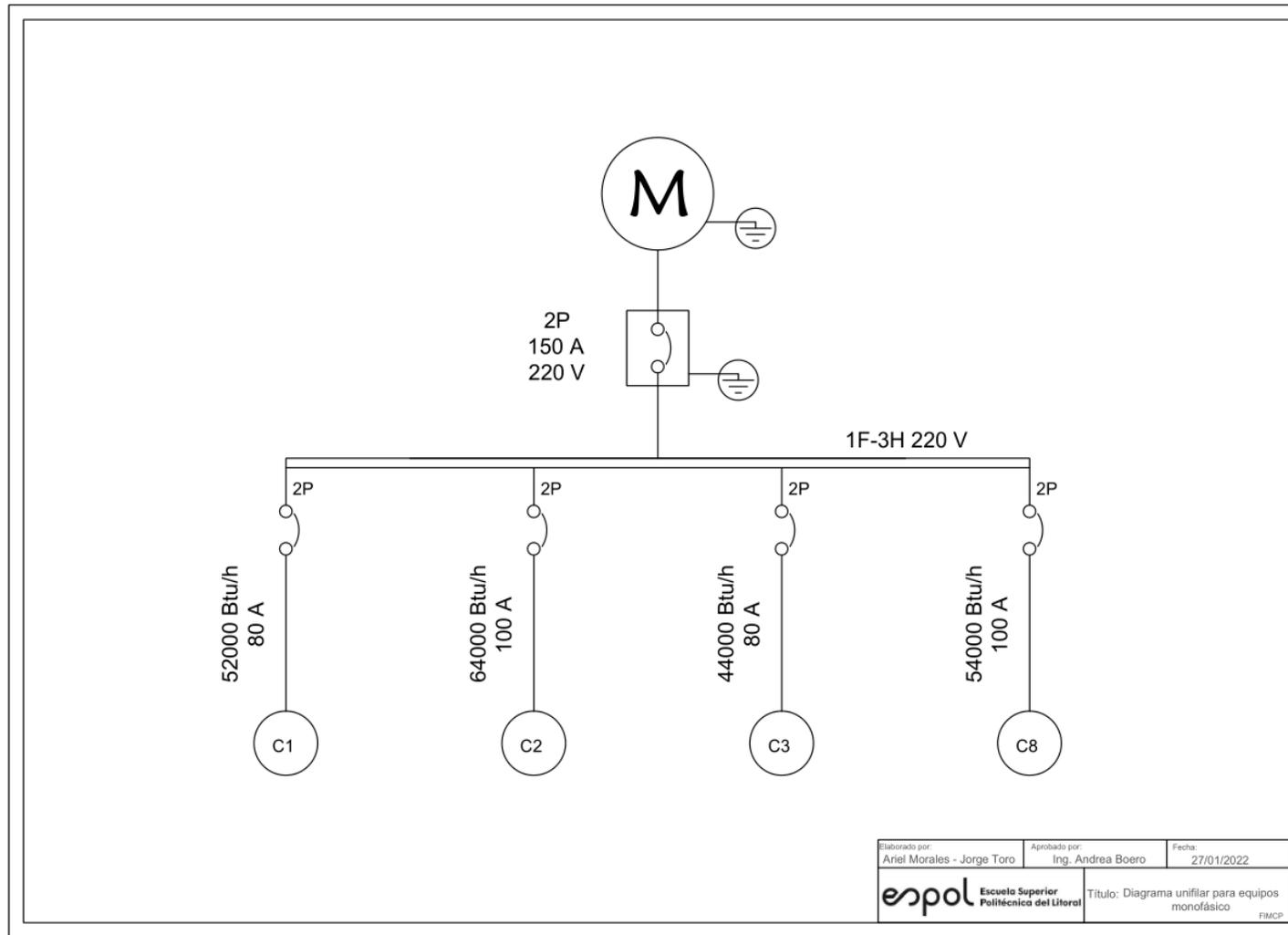


**Plano 8 Diseño de los sistemas de ductos para la extracción de aire, planta alta [Elaboración propia]**



Elaborado por: Ariel Morales - Jorge Toro	Aprobado por: Ing. Andrea Boero	Fecha: 27/01/2022
		Título: Diseño de los sistemas de ductos para extracción de aire <small>FIMCF</small>

### Plano 9 Diagrama unifilar para los equipos monofásicos [Elaboración propia]



### Plano 10 Diagrama unifilar para los equipos trifásicos [Elaboración propia]

