



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN Y VALORACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO  
SISTEMA HVAC PARA SALAS BLANCAS**

**Douglas Rafael Mazariegos Robledo**  
Asesorado por la Mtro. Renaldo Girón Alvarado

Guatemala, julio 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN Y VALORACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO  
SISTEMA HVAC PARA SALAS BLANCAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**DOUGLAS RAFAEL MAZARIEGOS ROBLEDO**  
ASESORADO POR EL MTRO. RENALDO GIRÓN ALVARADO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, JULIO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Julio César Molina Zaldaña
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Víctor Eduardo Izquierdo Palacios
SECRETARIA	Ing. Gilda Marina Castellanos de Illescas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN Y VALORACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO SISTEMA HVAC PARA SALAS BLANCAS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 14 de enero de 2022.

**Douglas Rafael Mazariegos Robledo**



**EEPM-PP-0300-2022**

Guatemala, 14 de enero de 2022

**Director**  
**Gilberto Morales Baiza**  
**Escuela De Ingenieria Mecanica**  
**Presente.**

**Estimado Ing. Morales**

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO Y VALORACION ECONOMICA DEL PROYECTO SISTEMA HVAC PARA SALAS BLANCAS**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gerencia Estratégica - Evaluación financiera de problemas**, presentado por el estudiante **Douglas Rafael Mazariegos Robledo** carné número **8430634**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Gestion Industrial.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.


Atentamente,

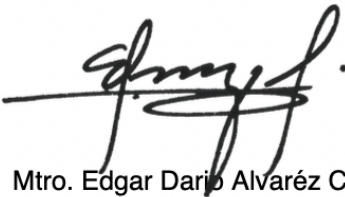
*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Renaldo Girón Alvarado  
Ingeniero Industrial  
Colegiado No. 5977

Mtro. Renaldo Girón Alvarado  
Asesor(a)



  
Mtro. Hugo Humberto Rivera Perez  
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Alvaréz Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería





EEP-EIM-0300-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica de la Facultad de Ingenieria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO Y VALORACION ECONOMICA DEL PROYECTO SISTEMA HVAC PARA SALAS BLANCAS**, presentado por el estudiante universitario **Douglas Rafael Mazariegos Robledo**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

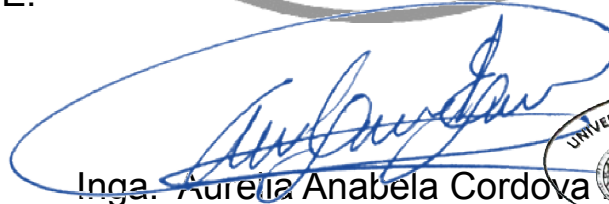
Ing. Gilberto Morales Baiza  
Director  
Escuela De Ingenieria Mecanica

Guatemala, enero de 2022

LNG.DECANATO.OI.544.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN Y VALORACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO SISTEMA HVAC PARA SALAS BLANCAS**, presentado por: **Douglas Rafael Mazariegos Robledo**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova

Decana



Guatemala, julio de 2022

AACE/gaoc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Creador, sustentador y dador de la vida.
<b>Mis padres</b>	Conrado Rafael Mazariegos de León y Flery Mirsa Robledo Serrano de Mazariegos por el esfuerzo, el compromiso, el amor y la dedicación.
<b>Mis hermanos</b>	Nasser Robledo, Alberto y Alex Mazariegos por el apoyo, el acompañamiento y el ánimo.
<b>Mi esposa</b>	Rosana Indira Rivera Sancé de Mazariegos por su amor, compañía y ayuda.
<b>Mis hijas</b>	Sofia Stephanie, Diana Marcell, Rosana Eunice y Elisabet Joana Mazariegos Rivera; con amor, por ser parte de mi vida y de esta meta.



## AGRADECIMIENTOS A:

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser alma <i>mater</i> de la educación y formación profesional.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por la enseñanza y formación académica en la disciplina de la ingeniería.
<b>Mi asesor</b>	Mtro. Renaldo Girón Alvarado, por su disposición y guía durante este trabajo de graduación.
<b>Mis catedráticos</b>	Por el tiempo, la paciencia y por compartir sus conocimientos.
<b>Mi hija</b>	Sofia Stephanie Mazariegos Rivera por su ayuda y apoyo en los últimos años de la carrera.
<b>Mis compañeros</b>	Por compartir y acompañarme para alcanzar esta meta. Yuri Yohanna Dunbar, Estuardo Carrillo Barrera y Ángel de León López.
<b>Mis amigos</b>	Por la amistad y el aprecio, como parte de mi vida, de esta carrera y de la meta alcanzada.
<b>Mi familia</b>	Por el abrigo, el soporte, el consejo y la fraternidad

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XV
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
3. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA .....	7
3.1 Contexto y descripción.....	7
3.2 Preguntas de investigación .....	7
3.2.1. Pregunta central .....	7
3.2.2 Preguntas auxiliares .....	8
3.3. Delimitación .....	8
4. JUSTIFICACIÓN .....	9
5. OBJETIVOS.....	11
5.1 General.....	11
5.2 Específicos .....	11

6.	NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	13
7.	MARCO TEÓRICO .....	17
7.1	Conceptos .....	17
7.1.1	Condensador (intercambiador de calor).....	17
7.1.2	Intercambiador de calor .....	18
7.1.3	Evaporador .....	19
7.1.4	Enfriador .....	20
7.1.5	Transferencia de calor .....	23
7.1.6	Aire acondicionado .....	23
7.1.7	Unidad <i>Fan Coil</i> .....	24
7.2	Funcionamiento de un sistema HVAC .....	26
7.3	Salas blancas .....	28
7.4	Sistemas HVAC en salas blancas .....	29
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO.....	31
9.	METODOLOGIA .....	39
9.1	Características del estudio .....	39
9.1.1	Enfoque .....	39
9.1.2	Alcance.....	39
9.1.3	Diseño .....	40
9.2	Unidad de análisis .....	40
9.3	Variables .....	40

9.4	Fases del estudio.....	42
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN .....	47
11.	CRONOGRAMA.....	49
12.	FACTIBILIDAD DE ESTUDIO .....	51
	12.1 Presupuesto.....	51
13.	REFERENCIAS.....	53
14.	APÉNDICES .....	59



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Esquema de solución.....	16
2.	Cronograma.....	49

## TABLAS

I.	Unidad de análisis.....	41
II.	Presupuesto.....	51



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>°F</b>	Grados Fahrenheit
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Molécula del agua
<b>%</b>	Porcentaje





## **GLOSARIO**

<b>Aire acondicionado</b>	Un equipo, sistema o mecanismos diseñados para deshumidificar y extraer calor de un área.
<b>Aire exterior mínimo</b>	La menor cantidad de flujo de aire fresco que se puede permitir en un sistema de recirculación.
<b>Bomba de calor</b>	Compresor que cicla aire frío o caliente. Diseñado para mover la energía térmica en la dirección opuesta al flujo de calor.
<b>Cambios de aire por hora</b>	Tasa de ventilación por hora dividida por el volumen de un espacio. También se llama tasa de cambio de aire o cambios de aire ACH abreviado o ac/h.
<b>Condensador</b>	Expulsa o elimina el calor del sistema. Son intercambiadores de calor y pueden transferir calor al aire o a un fluido para llevar el calor al exterior.
<b>Controlador</b>	Puede simplemente encender y apagar un dispositivo. La mayoría son automáticos, pero tienen ajuste de temperatura, por ejemplo. Pueden ser analógicos o digitales.

<b>Controlador unitario</b>	Es un dispositivo que controla solo una zona en un edificio.
<b><i>Damper</i></b>	Rejilla para controlar el flujo de aire.
<b>Delta T</b>	Diferencia de temperatura de un medio cuando entra y sale de un sistema.
<b>Deshumificador</b>	Equipo que extrae y elimina la humedad del aire
<b>Difusor</b>	Distribuye uniformemente el flujo de aire en las direcciones deseadas.
<b>Enfriador</b>	Elimina el calor de un líquido por absorción o compresión de vapor. Son de dos tipos: refrigerado por aire o por agua.
<b>Entalpía</b>	Cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico, que puede intercambiar con su entorno.
<b>Espacio <i>plenum</i></b>	Espacio cerrado utilizado para el flujo de aire.
<b>Evaporador</b>	Absorbe o agrega calor al sistema, se pueden utilizar para transferir el calor del aire o de un líquido.

<b>Factor de rendimiento estacional de calefacción</b>	Indicador que toma en cuenta el funcionamiento del equipo durante todas las horas previstas de la temporada de calefacción, así como todos los rendimientos instantáneos en las potencias parciales necesarias en cada una de esas horas de funcionamiento.
<b>Fluido intermedio</b>	Líquido o gas que se utiliza para transferir calor entre dos intercambiadores de calor.
<b>Flujo</b>	Transferencia de volumen de fluido por unidad de tiempo.
<b>Horno</b>	Componente que agrega calor al aire o un fluido al quemar gas.
<b>Índice de eficiencia energética estacional</b>	Relación entre la salida del enfriamiento durante una temporada de enfriamiento típica dividida por la entrada total de energía eléctrica durante el mismo período.
<b>Intercambiador de calor</b>	Es la parte del sistema que transfiere calor desde la parte caliente a la parte fría.
<b>Piso radiante</b>	Tipo de sistema de calefacción radiante en el que el suelo contiene canales o tubos a través de los cuales circulan fluidos calientes. Aceite sintético que se utilizar en los sistemas de aire acondicionado para lubricar el compresor.

<b>Polialquilenglicol</b>	Aceite sintético que se utilizar en los sistemas de aire acondicionado para lubricar el compresor.
<b>Psicometría</b>	Estudio del comportamiento de mezclas aire-vapor de agua.
<b>Radiación</b>	La transferencia de calor directamente de una superficie a otra.
<b>Serpentín</b>	Equipo que realiza transferencia de calor al aire. Se calienta o enfría por medios eléctricos o haciendo circular liquido o vapor en su interior.
<b>Sistema dividido</b>	Combinación de una unidad exterior y una unidad interior.
<b>Temperatura de bulbo seco</b>	Temperatura del aire medida por un termómetro que se expone libremente al aire mientras está protegido de la radiación y la humedad. Es la verdadera temperatura termodinámica. Es una medida de intensidad de calor independientemente de la humedad.
<b>Termómetro de bulbo seco</b>	Instrumento que mide la temperatura del aire, independientemente de la humedad, está expuesto libremente al aire para medir y protegido de la radiación y de la humedad.
<b>Termostato</b>	Sistema que monitorea y regula un sistema de calefacción o aire acondicionado.

<b>Unidad de tratamiento de aire</b>	Equipo que consta de un ventilador, componentes de calefacción y refrigeración, rejillas o cámara de filtros, humidificador y otros componentes para el tratamiento del flujo de aire.
<b>Unidad <i>fan coil</i></b>	Se compone un ventilador y un serpentín de calefacción y/o enfriamiento. FCU abreviado.
<b>Unidad térmica británica (BTU)</b>	Calor requerido para elevar una libra de agua en un grado Fahrenheit.
<b>Unidad terminal</b>	Componente pequeño que contiene un serpentín de calentamiento o un serpentín de enfriamiento. Se utiliza para controlar la temperatura de una habitación.
<b>Válvula de expansión termostática</b>	Elemento de expansión que regula el flujo de refrigerante líquido en el evaporador mientras censa el refrigerante en vapor que sale del evaporador.
<b>Ventilador centrífugo</b>	Es un dispositivo mecánico para mover aire u otros gases.
<b>Zona termal</b>	Espacio individual o grupo de espacios interiores vecinos que el diseñador espera tengan cargas térmicas similares.



## **RESUMEN**

Actualmente los espacios designados como salas blancas deben cumplir con estándares internacionales, debido a la aplicación específica en procesos de fabricación, manufactura, ensamble, productos médicos, productos comestibles, laboratorios farmacéuticos, clínicas médicas, quirófanos, salas de datos, informática y telecomunicaciones.

Estándares requeridos en cuanto a temperatura, humedad relativa, renovación y pureza del aire, así como la presión que se necesite dentro de la sala blanca, dichos estándares estrechamente relacionados con el proceso productivo a realizarse dentro de dicha sala.

Con la combinación de equipos e instrumentos mecánicos, eléctricos y electrónicos se puede generar, mantener y controlar estas requeridas condiciones dentro de sala. Equipos necesarios que se determinan a partir de un diseño, un cálculo y conocimientos de aplicación de la ingeniería.





# 1. INTRODUCCIÓN

En trabajo de graduación propuesto constara de cinco capítulos, teniendo cada uno de éstos un objetivo específico. El objetivo es que este trabajo sea una herramienta, sobre todo, para planificar y evaluar financieramente el diseño de un sistema HVAC. Se determinará la viabilidad del diseño de un sistema HVAC por medio de la evaluación financiera de la inversión.

En trabajo de graduación propuesto constará de cinco capítulos, teniendo cada uno de éstos un objetivo específico, encontrará entonces dentro de este, información de los enfriadores de agua, sus componentes y sus características, como también de la función que cumplen estos componentes dentro del ciclo o circuito al cual corresponden. Ciclo de refrigeración, circuito eléctrico y circuito de agua enfriada, estudiados cada uno por separado, pues representa aplicaciones técnicas específicas, combinadas para el funcionamiento del equipo.

El cuarto capítulo es la sumatoria de todo lo que se describirá en los anteriores, se obtendrá un diseño desde los cálculos de carga térmica, capacidad del equipo, dimensión de ductos y rejillas; tomando en cuenta las pérdidas que son normales en estos sistemas.

Finalmente, en el capítulo cinco se establecerá la inversión inicial, se establecerá el presupuesto y se determinaran los costos de funcionamiento. Con esto se realizará la valoración económica y evaluación financiera a través de herramientas como valor presente neto, tasa interna de retorno y relación costo-beneficio.



## 2. ANTECEDENTES

A inicios del siglo XX, en 1902, Willis Haviland Carrier, ingeniero, creó el sistema HVAC (Heating, Ventilating, Air Conditioning) inventando el primer aparato de aire acondicionado, una rudimentaria máquina pensada para enfriar el aire y controlar la humedad en las imprentas. 12 años después, se instaló por primera vez en un hogar un aire acondicionado, en Minneapolis, Estados Unidos. (SyP, 2017, parr. 2)

“En general se dice que HVAC se refiere a la renovación del aire y a su tratamiento para conferirle condiciones de salubridad (de pureza, de temperatura y de humedad) acondicionado para el confort y la respiración de las personas”. (SyP, 2017, parr. 3)

El HVAC comprende calentamiento, enfriamiento, ventilación, humificación, deshumificación, limpieza y movimiento del aire interior.

En el año 2006, en un artículo de la revista Vaccimotor, se realizó la calificación inicial de una Planta de Ingrediente Farmacéutico Activo (IFA) para la fabricación de vacunas contra tétanos, fiebre tifoidea y tos ferina. (Reyes O, 2006, pág. 1) Las comprobaciones estuvieron basadas en normas internacionales y para ello se empleó un equipamiento que cumple con los requerimientos para industria farmacéutica. Pudo comprobarse que el sistema de clima es capaz de garantizar los críticos de operación de las áreas limpias, aunque algunos criterios de las pruebas opcionales no fueron cumplidos. (Reyes O, 2006, pág. 1)

La Planta de Producción de IFA tienen como objetivo la producción del principio activo para la elaboración de vacunas de DPT en diferentes campañas de producción. El sistema de clima está constituido por cuatro unidades manejadoras de aire (una para cada zona de trabajo, definida anteriormente), independientes una de las otras. Estas se encargan de mantener la temperatura entre 18 y 24 °C, respectivamente, y 2 unidades intensificadoras instaladas en los conductos de retorno, con el objetivo de vencer la resistencia al paso del aire al atravesar estos los filtros HEPA de contención. (Reyes O, 2006, pág. 1)

Este tipo de calificación implica verificar la condición de los filtros, el flujo de aire, la diferencia de presiones, la pureza del aire y la intensidad del ruido. El 95 % correspondió a los valores de presión especificados. El número de partículas depende del número de recambios de aire, los cambios de presión, la integridad del filtro y del diseño.

También según Reyes O (2006, pag. 3), el análisis de la limpieza del aire en las diferentes áreas fue realizado a partir de la determinación de la cantidad de partículas de 0,5  $\mu\text{m}$  presentes en el ambiente. Una vez comprobado que el nivel de limpieza en las áreas es el adecuado, es preciso determinar que las mismas son capaces de recuperar su estado original de limpieza al ser sometidas a niveles altos de generación de partículas, simulando una posible falla del sistema de HVAC o una emisión excesiva de partículas al ambiente que rodea los puestos de trabajo. A esta prueba se le denomina prueba de recuperación del sistema.

Las áreas de producción deben estar suficientemente ventiladas, con controles en las facilidades de los parámetros del aire, los que incluyen temperatura, humedad y filtración, apropiados ambos para los productos manejados. En el caso de la temperatura y la humedad relativa no deben ser

incómodas debido a la calidad de la ropa que se utiliza en las áreas limpias. (Reyes O, 2006, pág. 4)

Realizando pruebas similares, se debe diseñar un sistema que sea capaz de mantener los parámetros importantes ya definidos, incluso en condiciones estáticas.

En la actualidad la implementación de sistemas HVAC en establecimientos comerciales dejó de ser un tema de confort y se trata ahora de un tema normativo, la concentración de personas en recintos cerrados crea una alta concentración de humedad en el aire y CO<sub>2</sub>, lo que puede llegar a causar afecciones en las personas al saturarse el aire al interior del recinto, por esto se requieren de sistemas que deshumidifiquen el aire y lo renueven. (Manrique Moreno, 2016, pág. 11)

“Según ASHRAE, los sistemas HVAC de los hospitales desempeñan un papel vital en la mitigación de la propagación de enfermedades como COVID-19, SARS y tuberculosis”. (MOTOREX, 2020, par. 1)

Las averías del sistema de climatización sanitaria y el bajo rendimiento son problemas muy graves. Esto se debe a que la vida de los pacientes puede estar en riesgo si la temperatura y la humedad se desvían de los niveles seguros. Además, los patógenos que pueden transmitirse a través de un sistema HVAC con conductos son un riesgo adicional. (MOTOREX, 2020, par. 3)

Se ha determinado que el rendimiento de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) pueden no satisfacer las expectativas de diseño debido a la instalación incorrecta del equipo, la degradación del equipo,

las fallas de los sensores o las consecuencias de control incorrectas. (Ruiz Ariza, 2019, pág. 23)

La puesta en servicios identifica e implementa medidas operativas y de mantenimiento rentables en los edificios para adecuarlos a la intención de diseño u operación optima. Un edificio de oficinas existente se utiliza como un estudio de caso para demostrar el proceso de puesta en servicio. Las herramientas de evaluación comparativa de la energía del edificio se aplican para evaluar el rendimiento energético de las oportunidades de detección en todo el nivel del edificio. (Ruiz Ariza, 2019, pág. 23)

Los resultados de la evaluación comparativa del edificio indicaron un gran potencial de ahorro de gas natural. Las operaciones defectuosas en los sistemas HVAC como las operaciones inadecuadas de los economizadores del lado del aire, el calentamiento y enfriamiento simultáneos y el inicio optimo inefectivo, se identificaron mediante análisis de datos de tendencias y pruebas funcionales. (Ruiz Ariza, 2019, pág. 23).

“El potencial de ahorro de energía para cada medida de puesta en servicio se cuantifica con un modelo de simulación de edificio calibrado. Se logro un ahorro de energía real del 10 % después de la implementación de medidas rentables.” (Ruiz Ariza, 2019, pág. 23)

### **3. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA**

#### **3.1 Contexto y descripción**

Los principales usos de salas blancas de ambiente controlado están relacionados con procesos de elaboración de productos específicos e investigación, por ejemplo: laboratorios FIV o laboratorios de investigación. Las salas blancas determinarían la limpieza del entorno a través de contadores de partículas.

La concentración de partículas suspendidas en el aire debe controlarse mediante un sistema de filtración y presión positiva del medio ambiente. En el caso de un laboratorio también es necesario el control de la humedad y la temperatura. Para esto es necesario instalar una unidad central para el controlar la humedad.

#### **3.2. Preguntas de investigación**

A continuación, las preguntas que esta investigación pretende responder:

##### **3.2.1 Pregunta central**

¿Cómo controlar la concentración de partículas en el aire, humedad y temperatura dentro de una sala blanca?



### **3.2.2 Preguntas auxiliares**

- ¿Qué es un sistema HVAC?
- ¿Cómo diseñar un sistema HVAC?
- ¿Cuáles son los componentes y cómo funciona un sistema HVAC para salas blancas?
- ¿Para qué sirven los sistemas HVAC en salas blancas?

### **3.3 Delimitación**

La sala blanca debe mantener una temperatura entre 18-20 °C (64-68 °F). La humedad relativa (RH) deberá ser inferior al 65 %. La condición ideal es entre el 45-55 % RH. La sala blanca deberá presurizarse positivamente en un rango de 2-4 mm H<sub>2</sub>O. Las tomas de aire deberán tener filtración de aire y recircular el aire 15-20 veces por hora para limitar el nivel de contaminación de partículas en la sala cuando se abre la puerta.

## 4. JUSTIFICACIÓN

Dadas las condiciones requeridas por una sala blanca; entre estas la temperatura, humedad relativa, presión, recirculación del aire y pureza de este. Como también el avance tecnológico de los sistemas de aire acondicionado, ventilación y calefacción HVAC; sumándose la falta de información sintetizada sobre el funcionamiento de estos equipos, su diseño y su aplicación.

Siendo sistemas industriales cuyos componentes son de tipo mecánico, eléctrico, electrónico, que se combinan para alcanzar las condiciones termodinámicas, psicométricas y de seguridad e higiene industrial, siendo así una aplicación de la ingeniería. Como estos sistemas representan una inversión para las empresas industriales es necesario el análisis económico y financiero del proyecto.

Por lo anterior, justifica entonces éste trabajo de investigación sobre diseño y valoración económica de sistemas HVAC para salas blancas. Con el enfoque dado este trabajo tiene el propósito de servir a; estudiantes de ingeniería y técnicos de la materia, por contener información práctica, técnica de diseño y de cálculo, del funcionamiento de estos equipos y de su aplicación.

Aplicación que es variada en la industria: laboratorios ópticos, laboratorios farmacéuticos, laboratorios clínicos, salas quirúrgicas, envasado de productos e industria alimenticia,



## **5. OBJETIVOS**

### **5.1 General**

Diseñar un sistema HVAC para laboratorios y determinar su valorización económica.

### **5.2 Específicos**

1. Describir los equipos y conceptos involucrados en un sistema HVAC para cumplir con los requerimientos de instalación en una sala blanca.
2. Calcular los parámetros termodinámicos de un sistema HVAC para dicha aplicación.
3. Determinar el valor económico de este proyecto.



## **6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN**

Hay necesidades por cubrir para esta empresa; como principal es certificar el proceso de fabricación de lentes oftalmológicos y a la vez que este producto cumpla los estándares nacionales e internacionales para la comercialización y el uso en beneficio de las personas.

Existen una necesidad cada vez mayor de soluciones de eficiencia energética para salas blancas en temas de climatización. La sala blanca surgió de la necesidad de disponer de un recinto en el cual pueda llevarse a cabo procesos y operaciones como los requeridos.

El diseño resultante de esta investigación por un lado será eficiente en la operación, con costos reducidos y alta viabilidad en el costo beneficio; por otro lado, tendrá ventajas como mayor precisión en el control de condiciones de proceso y operación

El aire acondicionado por sí mismo ya es considerado una necesidad en procesos industriales para proveer espacios acondicionados. Se realizará esta investigación para diseñar un sistema HVAC que cumpla con las necesidades de productividad, fiabilidad, rapidez y automatización exigidas en las salas blancas. Uno que se adapte a las necesidades con la menor inversión posible teniendo en cuenta todos los factores para darle una solución.

Como un esquema de solución a estas necesidades se proponen las siguientes fases:

- Fase 1. Con la ayuda del fabricante de esta maquinaria y equipo, establecer las dimensiones, largo, ancho, altura de esta sala blanca. Tiempo estimado de realización 15 días.
- Fase 2. Con dimensiones determinadas de esta sala, gestionar la disposición del terreno dentro de la planta; haciendo las consideraciones y ajustes necesarios. Tiempo estimado de realización 5 días.
- Fase 3. Establecer las características de construcción de esta sala; cimentación, diseño estructural, materiales de construcción, alimentación eléctrica, sistema de drenajes, alimentación de agua, alimentación de otro fluidos y gases, servicios sanitarios, tratamiento de aguas residuales, evacuación de gases y humos, acabados de paredes, de piso, de esquinas, de puertas, de ventanas y el tipo de iluminación. Tiempo de estimado de realización 10 días.
- Fase 4. Diseño y planificación. Tiempo estimado de realización 15 días.
- Fase 5. Construcción de sala blanca. Tiempo estimado de realización 60 días.
- Fase 6. Establecer condiciones de ambiente y operación requeridas de esta sala conforme a normas ISO-14644-1. Condiciones dentro de la sala como: cantidad de partículas suspendidas en el aire, presión, temperatura, humedad relativa, pureza y concentración del aire. Tiempo estimado de realización 10 días.
- Fase 7. Cálculo del sistema HVAC: cuantificación de las condiciones existente a tratar, aplicando conocimientos: de termodinámica, de aire

acondicionado y refrigeración, de psicrometría, de mecánica de fluidos, montaje e instalaciones mecánicas, ingeniería eléctrica y de la conformación de los materiales. Tiempo estimado de 10 días.

- Fase 8. Diseño del sistema HVAC; encontrar los procesos necesarios para trabajar o procesar estas condiciones existentes y lograr las condiciones requeridas de trabajo para una sala blanca. Tiempo estimado de realización 10 días.
- Fase 9. Determinar los proveedores y equipos existentes en el mercado, estableciendo que estos equipos sean aplicables y funcionales en nuestro diseño. Tiempo estimado de realización 25 días.
- Fase 10. Negociación y compra del equipo. Tiempo estimado de realización 30 días.
- Fase 11. Instalación del equipo. Tiempo estimado de realización 30 días.
- Fase 12. Valoración económica del proyecto y viabilidad de la inversión. Tiempo estimado de realización 15 días.
- Fase 13. Evaluación financiera del proyecto. Tiempo estimado de realización 20 días.

El desarrollo de todas las fases tiene un tiempo estimado para su desarrollo de 250 días hábiles.



Figura 1. **Esquema de solución**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

## **7. MARCO TEÓRICO**

### **7.1 Conceptos**

A continuación, se definen las ideas base y principales que serán utilizadas para la estructuración de esta investigación.

#### **7.1.1 Condensador (intercambiador de calor)**

El condensador es básicamente un intercambiador de calor, en donde el calor absorbido por el refrigerante y durante el proceso de evaporación es cedido al medio de condensación. El calor cedido por el condensador es siempre mayor que el calor absorbido durante el proceso de evaporación, debido al calor de la compresión. Conforme el calor es cedido por el vapor de elevada presión y temperatura, su temperatura desciende al punto de saturación, y el vapor se condensa convirtiéndose en líquido, de ahí el nombre de condensador. (Perez Yax, 2011, pág. 34)

“La operación de un condensador es justamente contraria a la de un evaporador. El gas refrigerante caliente y a alta presión cede calor a los alrededores, sea agua o aire y se condensa y almacena hasta que necesite el evaporador”. (Perez Yax, 2011, pág. 35)

“El refrigerante licuado puede ser almacenado en un recipiente separado llamado depósito de líquido. Los condensadores frecuentemente son suministrados en combinación con un compresor; cuando se fabrican como un componente unitario, se les llama unidad condensadora”. (Perez, 2011, pág. 35)

“El condensador debe ser del tamaño adecuado para eliminar todo el calor añadido al refrigerante. Esto supone un gran trabajo, pues no solo incluye la eliminación del calor absorbido en el evaporador, sino también el calor producido durante la compresión”. (Perez, 2011, pág. 35)

### **7.1.2 Intercambiador de calor**

El cambiador de calor es un dispositivo que se usa para pasar calor del refrigerante líquido al gas de succión. El cambiador tiene dos objetivos principales. El primero es reducir la temperatura o sub enfriar al refrigerante líquido que va del condensador al dispositivo de estrangulación. Esta reducción de temperatura es necesaria en los sistemas que tienen grandes caídas de presión, para evitar la evaporación en el tubo de líquido. Estas caídas de presión se pueden originar por ser demasiado largas las tuberías, o prolongadas las subidas del tubo. (Martinez Zainz, 2005, pág. 168)

El segundo objetivo del cambiador es asegurar que esté seco el gas de succión que entra al compresor. En los sistemas que tienen fluctuaciones rápidas de la carga, no es raro encontrar que el líquido se escurra desde el evaporador. El cambiador de calor permite ajustes menores de sobrecalentamiento, porque algo de arrastre líquido no necesariamente es peligroso. (Martinez Zainz, 2005, pág. 168)

El cambiador de calor es de tubo triple muestra el principio de intercambio. Es un dispositivo a contracorriente en el que el líquido tibio entra al lado derecho y que el gas húmedo o frío por la izquierda, como el líquido se encuentra a una temperatura mayor que la del gas, el calor saldrá del líquido y pasará al gas. Con ello se subenfria el líquido y se reduce la evaporación instantánea, al mismo tiempo que se sobrecalienta el gas para evitar la inundación. Hay otros tipos de

cambiadores de calor, como el de tubo doble y el de envolvente y tubos. (Martinez Zainz, 2005, pág. 168)

El lugar del cambiador de calor depende del uso que se le dé. Si el cambiador se usa con objeto de sub enfriar el líquido, se instala tan cerca del condensador como lo permita la tubería. Un cambiador del calor que se use como protección contra los golpes del líquido se debe instalar en el tubo de succión bastante cerca al evaporador. Como los tubos tanto de líquido como de succión se deben llevar el cambiador de calor, la distribución del equipo puede tener más efecto sobre la posición del cambiador que los otros dos factores. (Martinez Zainz, 2005, pág. 168)

Aunque los cambiadores de calor sirven para muchos fines, se debe tener cuidado al usarlos, en especial con compresores herméticos. Los motores de compresores herméticos se enfrían mediante gas de succión, y con frecuencia tienen límites máximos definidos de temperatura del gas de succión. Como los cambiadores de calor tienden a aumentar la temperatura del gas de succión, su uso sin el concepto técnico puede ser peligroso. (Martinez Zainz, 2005, pág. 169)

### **7.1.3 Evaporador**

El evaporador constituye un intercambiador de calor. Tiene como objetivo proveer una transferencia continua y eficiente de calor desde el medio que se desea enfriar, al fluido refrigerante. El medio que se desea enfriar puede ser un gas o un líquido. El aire y el agua son las sustancias que comúnmente se enfrían con los evaporadores. En los evaporadores más comunes el refrigerante fluye por los tubos, mientras que el aire que se desea enfriar fluye por el exterior de estos. A estos tubos, construidos a menudo en forma de serpentines, se les llama superficie de transferencia de calor. (COLDSOLUTIONS, 2013, pág. 3) “El

refrigerante entra a la tubería del evaporador a baja temperatura y baja presión, como resultado de la expansión que experimenta al pasar a través del dispositivo de control de flujo". (STEEMKR, 2018, parr. 10)

#### **7.1.4 Enfriador**

El diseño y capacidad de los enfriadores de agua depende en parte del compresor y del sistema de condensación empleado. Comenzando con los de más baja capacidad, los enfriadores de agua paquete usan uno o varios compresores alternativos. Este tipo de unidad es ideal para moteles pequeños edificios para oficinas, etc. Porque son paquete, estos enfriadores pueden ser probados y ajustados a las especificaciones, en la fábrica. Deben ser usados con una torre economizadora o con otra fuente de agua, para la condensación.

Continuando con los modelos con compresores recíprocos y enfriados por agua, los enfriadores paquetes más grandes están entre las 30 y 200 toneladas. Estos son comúnmente modelos de varios compresores que permiten un control exacto de la capacidad; ellos tienen también elementos confiables para proteger los compresores en caso de una falla. Los compresores están equipados individualmente con descargadores de cilindros para permitir reducciones en la capacidad y consumos mínimos de corriente en los arranques.

El componente básico para la eliminación del calor en las unidades descritas antes es un condensador de carcasa y tubo. El agua fluye a través de los tubos y el refrigerante gaseoso que es condensador en el fondo de la carcasa es subenfriado de 10 a 15 °F, para aumentar la capacidad. En el circuito del agua, el agua de condensación más fría entra por la parte baja de la carcasa y circula a través de los tubos. El agua hará dos o tres pasadas a lo largo de la carcasa antes de salir. Esto es posible gracias al diseño especial de los cabezotes en los

extremos del condensador. Mientras más pasadas hay, mayor será la caída de presión y mayor será la presión requerida para producir el volumen de flujo necesario. Hay también tabiques dentro de la carcasa que sirven para sostener los tubos juntos y para distribuir mejor el refrigerante gaseoso a lo largo de la carcasa. (Herrera Raxon, 2016, pág. 47).

La capacidad del condensador está generalmente basada en una entrada de agua a 85 °F con un aumento de 10 °F. Incluido dentro del cálculo de capacidad está un factor de suciedad, que compensa la incrustación dentro de los tubos. Este alcanza hasta un 4 % de reducción de capacidad, comparado con la de un condensador limpio. La limpieza de los condensadores enfriados por agua depende de la dureza del agua y de los contaminantes atmosféricos que se depositan en la torre. Los tratamientos de agua con productos químicos son una actividad de rutina en mantenimiento, pero eventualmente el condensador requiere servicio. Los cabezotes removibles permiten la limpieza mecánica de los tubos para eliminar la incrustación.

La mayoría de los fabricantes ofrecen condensadores especiales para uso con agua salada en aplicaciones marinas. Los tubos están hechos con aceros aleados de cobre y níquel para resistir la corrosión.

En los enfriadores con compresores recíprocos, para refrigerante 22, el enfriador, es del diseño de expansión directa. El refrigerante fluye a través de las tuberías y generalmente hace dos pasadas en contracorriente al agua. Las conexiones para el agua están en los lados en vez de los extremos. Los tabiques transversales encausan el agua fría para que vaya de lado a lado sobre los tubos de refrigerante, a la velocidad adecuada para una óptima transferencia de calor. El sistema de agua fría de un edificio generalmente un sistema cerrado. Eso significa que no está expuesto a la evaporación o contaminación como lo está el

circuito de condensación. De todos modos, un factor de suciedad es asumido para el cálculo de capacidad de un enfriador. La carcasa del enfriador y la línea de succión deben aislarse contra la condensación; esto se hace en fabrica con espumas densas antes de pintar.

Ambas carcasas, la del enfriador y la del condensador, deben cumplir con el código ANS B9.1 y los códigos de seguridad aplicables a los tanques presurizados, de la ASME. La capacidad de un enfriador está basada en el estándar 590 de ARI: 44 °F, temperatura del agua fría a la salida, con 105 y 120 °F como temperaturas de condensación en la salida con una ganancia de 10 °F, dentro del condensador. Una temperatura de 95 °F en la salida del agua del condensador producirá una condensación de 105 °F. (Herrera Raxon, 2016, pág. 48).

Un modo más popular de ofrecer enfriadores paquete con condensación de aire, es muy parecido a una unidad condensadora grande, solo que la carcasa del enfriador está instalada debajo del serpentín de condensación y de la sección de ventiladores y todo el paquete se instala en un techo. La construcción interna del enfriador es la misma que se explicó anteriormente excepto que debe protegerse contra congelamientos. La carcasa está cubierta por resistencias eléctricas deba del aislamiento. Algunos fabricantes añaden también una caja metálica protectora que sirve además como barrera de vapor.

Los tamaños de enfriadores paquete con compresores recíprocos y condensación por aire varían desde 10 hasta más de 100 toneladas. Su capacidad también está clasificada de acuerdo con Norma ARI 590, es decir, con 44 °F para la temperatura de salida del agua fría y 95 °F para la temperatura de bulbo seco del aire cuando ingresa al condensador.

Además de ahorrar espacio y evitar los problemas de la torre economizadora y el condensador refrigerado por agua, los enfriadores de paquete refrigerados por aire tienen la ventaja de poder suministrar agua fría en tiempos fríos y bajas temperaturas, lo que provocaría problemas de congelación en los condensadores refrigerados. Las técnicas de control a bajas temperaturas son las mismas descritas anteriormente para unidades condensadoras enfriadas por aire y equipos para instalación en techos.

### **7.1.5 Transferencia de calor**

“La transferencia de calor constituye un proceso esencial en la refrigeración”. (SCRIBD, 2011, pág. 1). El evaporador en tecnología de refrigeración tiene la función de extraer calor del medio a enfriar. El objetivo del condensador es transferir (rechazar) el calor adquirido en el sistema, a algún medio conveniente de enfriamiento. Se analizarán algunos principios básicos referentes a la transferencia de calor. Es necesario poseer estos conocimientos para poder determinar el funcionamiento del equipo, también para calcular las cargas de refrigeración, como también conocer la manera de operar los sistemas eficientemente y reducir a un mínimo el consumo de energía.

### **7.1.6 Aire acondicionado**

La refrigeración y el aire acondicionado tienen el mismo objetivo: enfriar una sustancia. Comparten también componentes similares: compresores, intercambiadores de calor, ventiladores, bombas, cañerías, conductos y controles. Los fluidos de uso más frecuente son el aire, el agua y los refrigerantes. La implementación de ambas tecnologías requiere un sistema de termodinámico



Si bien la refrigeración y el aire acondicionado tienen mucho en común, existen diferencias de diseño, componentes y aspectos comerciales que justifican un texto dedicado exclusivamente a la refrigeración industrial. El aire acondicionado supera a la refrigeración en términos de número de unidades vendidas o instaladas, en términos de cifras de ventas y número de ingenieros empleados. Sin embargo, la refrigeración industrial es un negocio muy activo de volumen considerable, que desempeña un papel fundamental en la sociedad moderna.

La refrigeración no debe considerarse como una ramificación del aire acondicionado, sin perder por ello de vista que el intercambio de conocimientos y de técnicas entre ambas áreas de especiales es altamente beneficioso. Las instalaciones de refrigeración son complejas y de diseño especial, y por consiguiente los costos de ingeniería son usualmente más altos que los de las instalaciones de acondicionamiento de aire. Los problemas de baja temperatura que pueden surgir en la práctica de la refrigeración no se encuentran en los sistemas de aire acondicionado que operan a temperaturas más altas. Las unidades de aire acondicionado son unidades integrales completas, que se pueden instalar sin precauciones. Debido a la amplia variedad de estructuras posibles, los equipos de refrigeración deben diseñarse y construirse para satisfacer las necesidades de cada situación particular.

#### **7.1.7 Unidad *Fan Coil***

Hay una gran variedad de diseños en unidades de serpentín y ventilador con combinación de calefacción y enfriamiento. Tal vez el modelo más familiar es el acondicionado de alcoba, tan frecuentemente visto en oficinas, apartamentos, dormitorios, moteles y hoteles. Tiene un mueble atractivo con el retorno en la parte baja y un conjunto de rejillas de suministro direccionalmente

ajustables en la parte superior. Además, consiste en un filtro, adecuado para agua fría o caliente. El tamaño de la unidad será entonces más que suficiente. Existe una amplia variedad de unidades para controlar el flujo de agua fría o caliente, algunas, manuales, semiautomáticas o completamente automáticas, motorizadas u operadas con electroválvulas. El volumen de aire se controla ajustando la velocidad del ventilador (manual o automáticamente). El aire exterior se toma a través de una rejilla con dámper montada en un hueco de la pared. El tamaño de la unidad se designa de acuerdo con su capacidad en pie cúbicos/min y puede variar desde 200 hasta 1,200 pies<sup>3</sup>/min. El serpentín se selecciona para igualar esta capacidad según el número de filas que tenga. Estas unidades pueden ser instaladas en sistemas de 2, 3 y 4 tubos.

Con pocas modificaciones en el mueble, los mismos componentes se pueden ensamblar en forma horizontal para colgar del techo. Si el calentamiento de agua no es práctico, se pueden instalar calentadores en el lado de presión del registro.

Otra versión del tipo de unidad de ventilador y serpentín es la de diseño vertical, que puede ser instalada a la vista o detrás de la pared. Son colocados por lo general en paredes comunes dos apartamentos, piezas de hotel, etc. La tubería de agua también se instala en el mismo espacio entre paredes.

Las unidades de ventilador serpentín de agua, con tramos cortos de ductos, pueden ser instaladas en cielos falsos o dentro de closets, con los ductos saliendo hasta distintas piezas del apartamento. Estas varían en tamaño desde 800 hasta los 2,000 pies<sup>3</sup>/min. La capacidad de la unidad está basada en la cantidad de pies cúbicos por minuto y en el número de filas del serpentín.

Las unidades de serpentín y ventilador de mayor tamaño, usadas para acondicionar oficinas, almacenes, etc., donde la distribución de aire es posible, son algo parecidas a los muebles de unidades integrales para almacenes. Estas equipadas con rejillas de suministro y retorno para uso dentro del espacio acondicionado, o pueden usarse con ductos en instalaciones remotas. Los tamaños varían desde aproximadamente 800 hasta 15,000 pies<sup>3</sup>/min. En los tamaños grandes hay flexibilidad para la instalación y la descarga del ventilador. Estas unidades de ventilador y serpentín se aproximan a la siguiente categoría de equipo llamado unidades manejadoras de aire, pero en general, no tienen la capacidad y los accesorios disponibles en unidades manejadoras de planta central.

## **7.2 Funcionamiento de un sistema HVAC**

El propósito del sistema HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado) es proporcionar un ambiente con la temperatura, la humedad relativa y la purificación del aire requeridas.

El sistema contiene un gas que, al ser comprimido, aumenta su temperatura debido a la presión. Una vez caliente, fluye por un conducto donde disipa su calor. Después, se va enfriando poco a poco hasta que se transforma en un líquido de baja temperatura. Este líquido se desplaza por una válvula de expansión y se evapora convirtiéndose en un gas frío de baja presión. Luego fluye por un conducto absorbiendo el calor interior o exterior del ambiente. Después, es expulsado a través de unas rejillas de ventilación. Este proceso funciona de manera ininterrumpida mientras el sistema está en marcha. Algunos sistemas disponen de termostatos que detienen el proceso o lo dejan en espera.

Una cuestión que no se debe obviar es que los sistemas HVAC han de velar por la seguridad y el bienestar de los usuarios, y proporcionar un óptimo confort térmico. Por lo tanto, se deben llevar a cabo las acciones de mantenimiento e higienización pertinentes para garantizar que el aire interior de los recintos climatizados es un aire de calidad que no pone en riesgo la salud de las personas. (SIBER VENTILACION, 2016, parr. 5)

Calentamiento: se trata de aportar calor al aire para poder disfrutar de una mejor temperatura en invierno. Tradicionalmente, se optaba por los sistemas de calefacción, pero hoy en día los sistemas de ventilación mecánicos de doble flujo son capaces de ofrecer aire cálido gracias a un intercambiador de calor, lo que resulta más eficiente. Otros sistemas son las bombas de calor eficientes, y finalmente las resistencias eléctricas, que tienen un consumo muy elevado. (SIBER VENTILACION , 2016, parr. 8)

Enfriamiento: se trata de buscar el confort en interiores durante los meses más cálidos, refrigerando las estancias. Sin duda, el sistema más conocido es el de los aparatos de aire acondicionado. Utilizan compresores para comprimir un gas que luego aportara aire frío. El problema que tienen es su elevado consumo, si bien han mejorado con los años. Otros sistemas son el de enfriamiento evaporativo, apto para climas secos, y la ventilación mecánica de doble flujo también puede introducir aire refrigerado a una estancia por el mismo intercambiador. (SIBER VENTILACION , 2016, parr. 9)

Ventilación: existe desde hace muchos siglos, ya que la renovación del aire en un local cerrado es imprescindible para una buena salud. Históricamente, cuando los edificios permitían el paso del aire con facilidad no era tan necesario el uso de sistemas mecánicos. Pero, en la actualidad, los edificios gozan de una mayor estanqueidad, por lo que no se filtra el aire por paredes, puertas y

ventanas, así que es necesario un sistema de ventilación. Con los sistemas de ventilación de doble flujo en edificios de buena estanqueidad podemos lograr el confort térmico necesario sin el uso de aparatos de aire acondicionado en verano ni calefacción en invierno. (SIBER VENTILACION , 2016, parr. 10)

### **7.3 Salas blancas**

Una Sala Blanca o Sala Limpia (*Clean Room*) es una sala especialmente diseñada para obtener bajos niveles de contaminación y por ello deben tener los parámetros ambientales estrictamente controlados.

El concepto de sala limpia surge con la necesidad de disponer de un recinto en el cual puedan llevarse a cabo determinados procesos y operaciones de forma segura para la calidad de dichos productos, evitando cualquier tipo de contaminación.

Su diseño y su construcción debe tener en cuenta el uso posterior de la sala y su objetivo es minimizar la introducción, generación y retención de partículas dentro de la misma en todo momento. (ECOFRED CLEANROOM SYSTEMS, 2019, parr. 6)

Las características principales de las salas limpias son:

- El aire es estéril y se renueva varias veces por hora para eliminar la presencia de posibles contaminantes.
- La presión interna en estas salas es ligeramente superior a la exterior para impedir el flujo de aire hacia el interior cuando las puertas se abren.
- Las paredes están recubiertas de vinilo y los suelos suelen ser de PVC o de resina epoxi que ofrecen superficies totalmente continuas, sin ranuras.

- Las superficies están expresamente diseñadas con formas curvas para evitar la acumulación de polvo.
- Se emplean filtros HEPA de alta eficiencia, que retienen el 99,97 % de partículas de 0,3 micras presentes en el ambiente.
- Los flujos de materiales, de personal y de residuos están supervisados al detalle para minimizar cualquier riesgo de contaminación cruzada o desde el exterior. (Fernández, 2009, parr. 4.)

Las salas limpias se usan básicamente para reducir la contaminación. Evita la contaminación cruzada, protege los productos intermedios, protege contra contaminaciones externas, es un requisito indispensable para garantizar la esterilidad y protege de las partículas de polvo.

#### **7.4 Sistemas HVAC en salas blancas**

El primer objetivo es el de tener condiciones de temperatura y humedad para que el personal pueda trabajar cómodamente. Luego igual de importante el control de la contaminación. Los factores de control serían:

- Eficiencia de los filtros de aire
- Volúmenes de aire (cantidad de renovaciones horarias)
- Ubicación de puntos de suministro de aire
- Ubicación de puntos de retornos o extracción de aire
- Renovaciones de volúmenes de aire (aire exterior para dilución)
- Presiones diferenciales en las áreas
- Patrón de flujo de aire. (DOLMEN CLEANROOM,2018, parr. 8.)



## 8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

LISTA DE SIMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO TEORICO METODOLOGICO

TITULO

INTRODUCCION

1. ANTECEDENTES

2. MARCO TEÓRICO

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACION

3.1 Equipos para un sistema HVAC, componentes y su funcionamiento

3.1.1 Componentes de un enfriador de agua, CHILLER

3.1.1.1 Compresor

3.1.1.2 Separador de aceite

3.1.1.3 Condensador (intercambiador de calor)

3.1.1.3.1 Condensador por aire forzado

3.1.1.3.2 Condensador por agua. Torre de enfriamiento

3.1.1.4 Depósito de líquido

3.1.1.5 Válvulas de servicio



- 3.1.1.6 Filtro deshidratante
- 3.1.1.7 Visor de líquido
- 3.1.1.8 Válvula solenoide
- 3.1.1.9 Cambiador de calor
- 3.1.1.10 Válvula de expansión
- 3.1.1.11 Evaporador (intercambiador de calor)
- 3.1.1.12 Tuberías de alta y baja presión
- 3.1.1.13 Filtro de succión
- 3.1.1.14 Acumulador de succión
- 3.1.1.15 Circuito de agua enfriada
- 3.1.1.16 Panel eléctrico
- 3.1.1.17 Panel de instrumentación
- 3.1.1.18 Circuito eléctrico y su funcionamiento
- 3.1.2 Componentes de circuito de agua enfriada para acondicionar el aire
  - 3.1.2.1 Aire acondicionado
  - 3.1.2.2 Consideraciones de su aplicación
  - 3.1.2.3 Intercambiadores de calor
  - 3.1.2.4 Torre de enfriamiento
  - 3.1.2.5 Características del agua
  - 3.1.2.6 Tuberías de agua fría,
    - 3.1.2.6.1 Tuberías, accesorios y sus características
  - 3.1.2.7 Instalaciones de tubería de agua
  - 3.1.2.8 Aislamientos de tuberías
  - 3.1.2.9 Serpentín de la Manejadora de aire
- 3.1.3 Componentes de unidad manejadora de aire UMA
  - 3.1.3.1 Manejadoras de aire
  - 3.1.3.2 Clasificación de las manejadoras

- 3.1.3.3 Componentes
- 3.1.3.4 Controles, elementos, y accesorios propios de la aplicación
- 3.1.3.5 Unidad de filtrado
- 3.1.3.6 Serpentín para enfriar el aire
- 3.1.3.7 Unidad de calefacción
- 3.1.3.8 Ventilador centrífugo
- 3.1.3.9 Ducto de retorno de aire
- 3.1.3.10 Ducto de ingreso de aire fresco
- 3.1.3.11 Ducto de descarga de aire
- 3.1.3.12 Rejillas
- 3.1.4 Componentes del circuito eléctrico
  - 3.1.4.1 Unidades y términos eléctricos
  - 3.1.4.2 Circuitos eléctricos en serie y en paralelo
  - 3.1.4.3 Mediciones eléctricas e instrumentos de medición
  - 3.1.4.4 Formulas eléctricas básicas
  - 3.1.4.5 Componentes del circuito eléctrico
  - 3.1.4.6 Circuito eléctrico de fuerza
  - 3.1.4.7 Circuito eléctrico de mando
  - 3.1.4.8 Funcionamiento
- 3.2 Fundamentos de la refrigeración y aire acondicionado
  - 3.2.1 Ciclo de Carnot
  - 3.2.2 Refrigeración mecánica por compresión de vapor
  - 3.2.3 Transferencia de calor
  - 3.2.4 Propiedades de los refrigerantes
  - 3.2.5 Refrigerantes y la ecología
  - 3.2.6 Lubricantes característicos utilizados en refrigeración

- 3.2.7 Circuito de refrigerante
- 3.2.8 Funcionamiento
- 3.2.9 Principales componentes del ciclo de refrigeración
  
- 3.3 Proceso en un sistema HVAC y su aplicación en salas blancas
  - 3.3.1 Carga térmica Psicometría
  - 3.3.2 Carga térmica
  - 3.3.3 Cálculo de cargas térmicas
  - 3.3.4 Ganancias interiores de calor
    - 3.3.4.1 Ocupantes
    - 3.3.4.2 Iluminación
    - 3.3.4.3 Equipos y motores eléctricos
  - 3.3.5 Sistemas de distribución de aire
    - 3.3.5.1 Distribución de aire
    - 3.3.5.2 Elementos para el tratamiento de aire
    - 3.3.5.3 Ventiladores
  - 3.3.6 Ductos para distribución de aire
    - 3.3.6.1 Conceptos básicos
    - 3.3.6.2 Clasificación
    - 3.3.6.3 Montaje de los ductos
    - 3.3.6.4 Equilibrado del sistema
    - 3.3.6.5 Calibre de ductos metálicos y construcción recomendada
  - 3.3.7 Cálculo y dimensionamiento de ductos de aire
    - 3.3.7.1 Gráfico de pérdidas de carga por rozamiento
    - 3.3.7.2 Ductos rectangulares
    - 3.3.7.3 Velocidad del aire
    - 3.3.7.4 Pérdida de carga
    - 3.3.7.5 Pérdida de carga en un elemento del sistema

- 3.3.8 Métodos de dimensionamiento
- 3.3.9 Sistema de ductos de baja velocidad
- 3.3.10 Distribución de aire en espacios acondicionados
- 3.3.11 Clasificación de las unidades de distribución
- 3.3.12 Velocidad del aire en las unidades de impulsión
- 3.3.13 Selección de las unidades de impulsión
- 3.3.14 Rejillas de retorno
- 3.3.15 Transmisión de calor a través de las estructuras de los edificios
  - 3.3.15.1 Cálculo de coeficiente global de transferencia de calor
  - 3.3.15.2 Cálculo de diferencia equivalente de temperatura
  - 3.3.15.3 Ganancia de calor
  - 3.3.15.4 Almacenamiento de calor, no simultaneidad y estratificación
  - 3.3.15.5 Almacenamiento de calor
  - 3.3.15.6 Simultaneidad de las cargas de refrigeración
  - 3.3.15.7 Estratificación del calor
- 3.3.16 Carga sensible y carga latente
  - 3.3.16.1 Carga sensible
  - 3.3.16.2 Carga latente
- 3.3.17 Hoja de cálculo de carga térmica de enfriamiento
- 3.3.18 Caudal de aire fresco
- 3.3.19 Psicometría
  - 3.3.19.1 Composición del aire húmedo
  - 3.3.19.2 Parámetros de psicometría
  - 3.3.19.3 Atmosfera estándar
- 3.3.20 Diagrama psicométrico

- 3.3.20.1 Procesos psicométricos
- 3.3.20.2 Mezcla adiabática de dos caudales de aire húmedo
- 3.3.20.3 Cálculo de los parámetros de diseño de un equipo de aire acondicionado
- 3.3.20.4 Factor de bypass y factor de contacto

#### 4 PRESENTACION DE RESULTADOS

##### 4.1 Diseño de un sistema HVAC para salas blancas

###### 4.1.1 Carga térmica de la sala blanca

- 4.1.1.1 Condiciones exteriores
- 4.1.1.2 Condiciones interiores
- 4.1.1.3 Datos de diseño
- 4.1.1.4 Coeficientes globales de transmisión de calor U
- 4.1.1.5 Peso de la estructura
- 4.1.1.6 Día de mayor aportación solar
- 4.1.1.7 Diferencia equivalente de temperatura
- 4.1.1.8 Cálculo de la carga térmica

###### 4.1.2 Psicometría del sistema

- 4.1.2.1 Ecuaciones para el cálculo de las propiedades del aire
- 4.1.2.2 Procedimiento del calculo
- 4.1.2.3 Capacidad total del equipo

###### 4.1.3 Selección del sistema

- 4.1.3.1 Temperatura de condensación

###### 4.1.4 Especificaciones del equipo de tratamiento de aire

- 4.1.4.1 Gabinete
- 4.1.4.2 Ventiladores
- 4.1.4.3 Parte eléctrica

- 4.1.5 Selección del equipo climatizadora
  - 4.1.5.1 Funcionamiento del equipo
  - 4.1.5.2 Componentes del equipo
- 4.1.6 Funcionamiento y diseño del sistema de aire acondicionado
  - 4.1.6.1 Ubicación
  - 4.1.6.2 Modos de funcionamiento: verano e invierno
  - 4.1.6.3 Marcha/parada y control de humedad
  - 4.1.6.4 Humidostato
  - 4.1.6.5 Recomendaciones
- 4.1.7 Diseño de ductos y rejillas de impulsión de aire
  - 4.1.7.1 Rejillas de impulsión de aire
  - 4.1.7.2 Dimensionamiento de los ductos
  - 4.1.7.3 Cálculo de la pérdida de presión estática
- 4.1.8 Instalación
- 4.1.9 Puesta en marcha
- 4.2 Evaluación económica y financiera
  - 4.2.1 Valoración económica
  - 4.2.2 Evaluación financiera
    - 4.2.2.1 Valor actual neto
    - 4.2.2.2 Tasa interna de rendimiento
    - 4.2.2.3 Relación beneficio-costos
    - 4.2.2.4 Periodo de recuperación de la inversión
    - 4.2.2.5 Análisis de sensibilidad

DISCUSION DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANEXOS



## **9. METODOLOGIA**

Se analizarán los objetivos, componentes y actividades para el diseño de un sistema HVAC para salas blancas y así establecer las bases del proyecto.

### **9.1 Características del estudio**

El estudio tendrá las siguientes características:

#### **9.1.1 Enfoque**

En esta investigación se hablará de los sistemas HVAC en salas blancas y variables que se deben tomar en cuenta para el diseño de estos sistemas.

La investigación se enfocará en analizar la relación de estas variables para el diseño óptimo de estos sistemas, Por ejemplo, se analizará la carga térmica, condiciones ambientales, caudal de agua, distribución de aire, sistemas de control y configuración de los componentes del sistema, tomando en cuenta la normativa correspondiente y los avances tecnológicos que sean útiles. Además, se realizará una valoración económica del diseño obtenido, lo que destaca esta investigación.

#### **9.1.2 Alcance**

El alcance de esta investigación es de tipo práctico, de aplicación en la industria, de gestión industrial, como también de cálculo, diseño, construcción,



instalación, valoración del proyecto y de análisis financiero; y de esta manera realizar la gestión del proyecto en base a resultados

### **9.1.3 Diseño**

Hay que reunir todos los requerimientos que se requiere cumplir. Estos serán base para los criterios de diseño. Para empezar, se realizará un análisis de carga térmica, indicar la inversión inicial, costos de operación y mantenimiento, hablar sobre las ventajas y desventajas que ofrece cada sistema. Con esto se definirá el sistema y los equipos más convenientes.

Lo anterior basado en la normativa correspondiente y las experiencias previas en el desarrollo de este tipo de tecnología. Que esta investigación sirva para la implementación de proyectos similares.

## **9.2 Unidad de análisis**

Saber cuál es el costo, hacer el análisis costo beneficio. Entre las técnicas para estimar la viabilidad económica están retorno de inversión, valor actual neto y tasa interna de retorno.

Utilizaremos tres indicadores financieros: TIR (Tasa interna de retorno), relación beneficio/costo y el VPN (Valor presente neto), también tomaremos en cuenta la TMR (Tasa mínima de retorno)

## **9.3 Variables**

Las variables en estudio se describen a continuación:

Tabla I. **Unidad de análisis**

<b>Nombre de la Variable</b>	<b>Definición teórica</b>	<b>Definición operativa</b>	<b>Indicador</b>
<b>Temperatura</b>	Magnitud escalar que sistematiza la noción de frío o caliente haciéndola medible mediante un termómetro	Condiciones de temperatura optimas a los espacios cerrados y condiciones apropiadas para los humanos.	Temperatura 18 - 20 °C
<b>Presión</b>	Fuerza aplicada sobre el área	Supervisión de sensores de presión para la seguridad y el confort de los ocupantes.	Presión positiva 2-4 mm H <sub>2</sub> O
<b>Humedad</b>	Cantidad de agua, vapor de agua o cualquier otro líquido que está presente en la superficie o el interior de un cuerpo o en el aire	El nivel correcto de humedad del aire garantiza el bienestar y productividad en el lugar de trabajo	Humedad relativa entre 45-55%
<b>Valor presente neto</b>	Actualizar cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder con esa inversión	Herramienta que permite determinar la viabilidad de una inversión o de un proyecto	VAN>0
<b>Tasa interna de retorno</b>	Tasa de interés o de rentabilidad que nos ofrece una inversión	Porcentaje de beneficio o perdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto	TIR entre 6-12 %

Continuación tabla I.

<b>Relación costo-beneficio</b>	Los beneficios y los costos de un proyecto para definir su viabilidad.	Mide el grado de desarrollo de un bienestar que un proyecto puede generar	Relación beneficio/costos > 1
---------------------------------	--	---	-------------------------------

Fuente: elaboración propia, elaborado con Microsoft Word

#### 9.4 Fases del estudio

A continuación, se describen las fases en las cuales se divide el desarrollo de la investigación:

##### FASE 1. Determinación de las dimensiones.

Con la ayuda del fabricante de esta maquinaria y equipo, establecer las dimensiones de la sala blanca que favorezcan al proceso de fabricación, a la productividad, a la calidad de producto conforme a los estándares de la norma. Para proceder a la certificación.

##### FASE 2. Gestión de la ubicación de sala.

Con dimensiones determinadas de esta sala, gestionar la disposición del terreno dentro de la planta, y que dicha ubicación de la sala cumpla con lo objetivo de realizar el proyecto al menor costo posible. Así también la facilidad de entrada de materia prima y la salida de producto terminado.

### FASE 3. Establecer las características de construcción de esta sala.

Desde cimentación, diseño estructural, materiales de construcción, alimentación eléctrica, sistema de drenajes, alimentación de agua, alimentación de otro fluidos y gases, servicios sanitarios, tratamiento de aguas residuales, evacuación de gases y humos, acabados de paredes, de piso, de esquinas, de puertas, de ventanas y el tipo de iluminación.

### FASE 4. Diseño y planificación.

Con las características establecidas, elaborar los planos, sean éstos estructurales o arquitectónicos, considerando en detalle la cimentación, los materiales y las especificaciones de construcción y acabados de superficie. También planos de instalaciones eléctricas e instalaciones mecánicas. Con el diseño debemos elaborar y programa de trabajo, combinando las labores de construcción, el momento de realizarlas y el tiempo estimado que conlleva cada una de estas.

### FASE 5. Construcción de sala blanca

A partir de diseño y la planificación, llega el momento de la construcción, donde debemos convenir otros factores como: materiales de construcción y especificaciones de estos; materiales, proveedores y disponibilidad de estos; mano de obra calificadas, supervisión y coordinación de esta; recurso económico y disposición de este; y la administración de esta fase.

#### FASE 6. Establecer condiciones de ambiente y operación

Sala conforme a normas ISO-14644-1. Condiciones dentro de la sala como: cantidad de partículas suspendidas en el aire, presión, temperatura, humedad relativa, pureza y concentración del aire.

#### FASE 7. Cálculo del sistema HVAC.

Se trata de determinar a través del cálculo el valor de las condiciones ambientales, físicas, psicrométricas, termodinámicas, y eléctricas que intervienen en el proceso productivo y la operación.

#### FASE 8. Diseño del sistema HVAC

Teniendo en este sistema la combinación de calefacción, ventilación y aire acondicionado debemos encontrar los mecanismos y procesos mecánicos y eléctricos para mantener en la sala blanca las condiciones requeridas para el proceso de producción; humedad controlada, temperatura controlada, presión ambiente controlada, y también la calidad del aire.

#### FASE 9. Determinar los proveedores y equipos existentes

Encontrar los proveedores y los equipos existentes, en base a las especificaciones determinadas para los equipos necesarios para nuestro proceso. Sean estos proveedores locales o extranjeros, que nos den el soporte de asesoría, instalación y servicio.

#### FASE 10. Negociación y compra del equipo.

Conociendo nuestras necesidades en cuestión de equipo, iniciar con actividad comercial de solicitar la cotización de los correspondientes equipos, con los probables proveedores, pues empresarialmente existe alguna política para las compras, pudiendo negociar el precio y las condiciones de pago, de entrega, de garantía y del servicio post venta. Esperamos alcanzar la oferta pura y dura que nos convenga en la compra de los equipos.

#### FASE 11. Instalación del equipo

Buscando el apoyo de profesionales calificados en este tipo de proyectos, buscamos establecer el acuerdo para realizar las instalaciones de estos equipos siguiendo los planos y las recomendaciones del fabricante en aspecto de montaje, instalación eléctrica e instalación mecánica. Cumpliendo con el manual de buenas prácticas y el manual de seguridad e higiene industrial.

#### FASE 12. Valoración económica del proyecto y viabilidad.

Para la realización del proyecto es importante el valorar, dar precio, o cuanto no cuesta; y a la vez saber cuánto tenemos, si necesitamos financiamiento, que tipo de financiamiento. Esta es una manera de ver la viabilidad del proyecto.

#### FASE 13. Evaluación financiera del proyecto.

Para completar la toma de decisión, es importante la evaluación financiera del proyecto; que nos dará las razones para iniciar el proyecto o replantear; en

tiempo o en condiciones, pudiéndonos proyectar el riesgo en valor presente, renta y valor futuro.

## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

En un sistema HVAC para sala blanca hay elementos que de entrada son importantes:

- Características específicas del uso de la sala blanca
- Requisitos de la obra civil y eléctrica
- Normativa técnica como ASHRAE

Algunas características y requisitos serán definidos a través de la observación, para otros existe instrumentación para visualizar factores como presión que es importante para el diseño del sistema.

Aunque existen normativas que se pueden usar como guías no existe un paso a paso que se deba seguir. Entre las herramientas que utilizaremos están: manuales de mantenimiento, operación y referencia de equipos, certificados de materiales y equipos de medición.

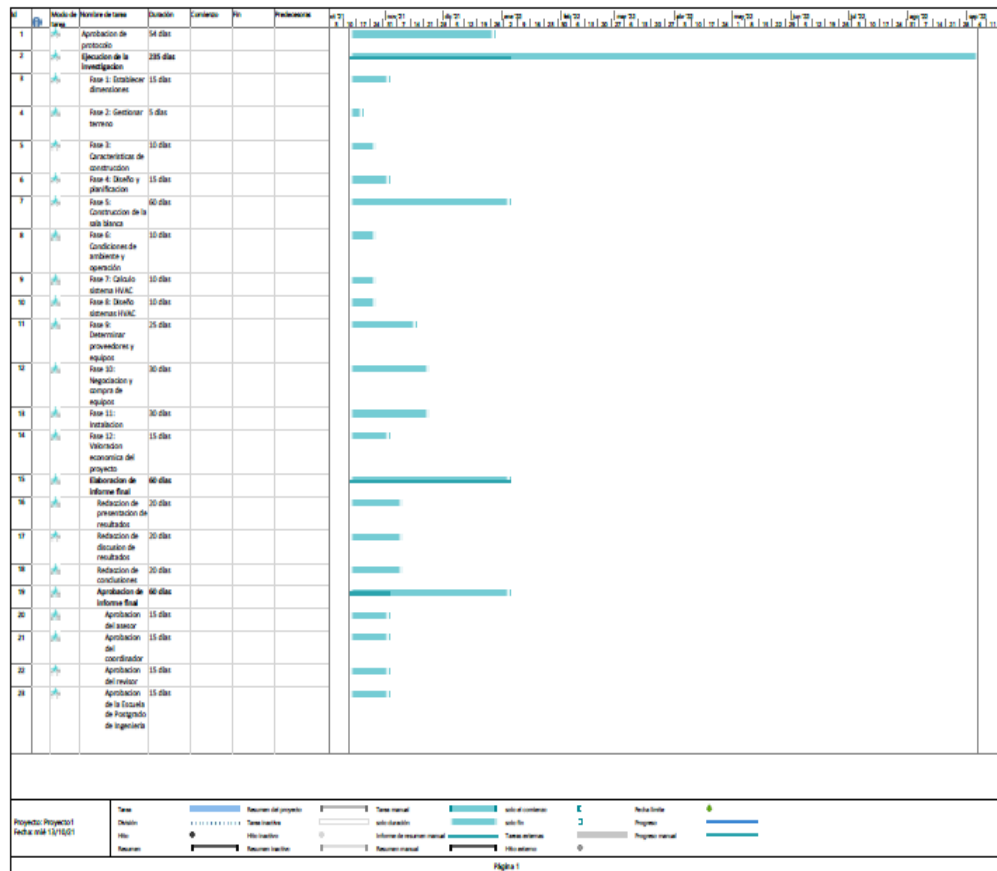
Los principales documentos que serán fuente de información de esta investigación son todos técnicos y normativos, por ejemplo, las normas ASHRAE para cumplir con estándares internacionales.





# 11. CRONOGRAMA

Figura 2. Cronograma



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Project.



## 12. FACTIBILIDAD DE ESTUDIO

### 12.1 Presupuesto

A continuación, se presenta el presupuesto estimado para el desarrollo y la evaluación del proyecto

Tabla II. **Presupuesto**

	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>
Estudio. Determinación de especificaciones técnicas de maquinaria y equipo, ubicación y características de construcción de la sala blanca.	1	Q 5000.00
Calculo, diseño y planificación de construcción de sala blanca.	1	Q 5000.00
Supervisión de construcción.	1	Q 5000.00
Calculo y diseño de sistema HVAC.	1	Q 5000.00
Asesoría en la búsqueda y compra de maquinaria y equipo.	1	Q 5000.00
Supervisión de Instalación, buenas prácticas, seguridad e higiene industrial.	1	Q 5000.00
Valoración económica y evaluación financiera del proyecto.	1	Q 5000.00
Asesoría, calculo y diseño, supervisión y Evaluación Financiera	<b>TOTAL</b>	<b>Q 35000.00</b>

Fuente elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Este presupuesto será cubierto por la empresa contratante al 100 %.



### 13. REFERENCIAS

1. Aliaga, A. (15 de Julio de 2018). *SCRIBD*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/381861725/Balotario-Refri-y-Aa-2015>
2. Ariza, I. J. (04 de 2019). *REDICUC*. Obtenido de <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/3285/1129509117.pdf?sequence=1>
3. Ceballos, C. A. (2013). *Estudio de la capacidad de trigeneracion en la empresa Prolac*. Obtenido de <https://1library.co/document/y960w6jy-estudio-capacidad-trigeneracion-empresa-prolac.html>
4. Condorchem. (15 de mayo de 2020). *condorchem.com/es/limpieza-de.biogas/*. Obtenido de <https://condorchem.com>
5. Coyoy, G. G. (1999). *Evaluacion de tratamiento de desechos liquidos de una planta extractora de aceite de palma africana*. Guatemala: USAC.
6. *Dolmen Cleanroom*. (26 de 06 de 2018). Obtenido de *Objetivos del Sistema HVAC en una sala blanca* : <https://dolmencleanroom.com/post/objetivos-del-sistema-hvac-en-una-sala-blanca>

7. *Ecofred Cleanroom Systems*. (14 de 04 de 2019). Obtenido de ¿Que es una sala blanca y que tipo de instalacion necesita mi empresa?: <https://ecofred.com/es/blog/52/-que-es-una-sala-blanca-y-que-tipo-de-instalacion-necesita-mi-empresa->
8. Elias, V. A. (Junio de 2015). Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/501/1/Vinicio%20Aurelio%20Armas%20Elias.pdf>
9. Fonticiella, D. O. (17 de 06 de 2019). *SCRIBD*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/413685234/281391519-Mantenimiento-de-Sistemas-de-Refrigeracion-y-Aire-Acondicionado-Doc>
10. Herrera, A. R. (Abril de 2016). *Repositorio del Sistema Bibliotecario USAC*. Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4543/1/Allan%20Ramsses%20Rax%C3%B3n%20Herrera.pdf>
11. *Labsom*. Obtenido de <https://labsom.es/salas-blancas/>
12. LoarcaMartinez, C. G. (2015). *los-sistemas-hvac-en-los-hospitales-y-su-importancia-en-la-mitigacion-de-enfermedades*. Recuperado el 19 de 08 de 2021, de Motorex: <http://www.motorex.com.pe/blog/los-sistemas-hvac-en-los-hospitales-y-su-importancia-en-la-mitigacion-de-enfermedades/>
13. Manrique, L. F., & Cardenas, J. F. (2016). *PLANIFICACIÓN DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO Y VENTILACIÓN* . Recuperado el 19

- de 08 de 2021, de Universidad Piloto de Colombia:  
<http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00003732.pdf>
14. Mariela Laura Choque, A. A. (08 de 02 de 2018). *SCRIBD*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/371074272/PACU-ACIDOS-GRASOS>
  15. Martinez, C. L. (Febrefro de 2015). Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/6449/1/CARLOS%20GIOVANNI%20LOARCA%20MARTINEZ.pdf>
  16. Martinez, I. S. (5 de nov de 8 de oct de 2005). *Repositorio Facultad de Ingenieria*. Obtenido de [http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/15880/1/decd\\_4452.pdf](http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/15880/1/decd_4452.pdf)
  17. MS INGENIERIA. (25 de Septiembre de 2018). *LOS SISTEMAS HVAC A DETALLE*. Recuperado el 08 de Agosto de 2021, de Montajes Soluciones Ingenieria: <https://www.ms-ingenieria.com.mx/sistemas-hvac/los-sistemas-hvac-a-detalle/>
  18. *Origen e historia de la ventilación mecánica industrial – Parte 2 de 2 –*. (30 de 09 de 2020). Recuperado el 19 de 08 de 2021, de SDT AIR : <https://www.sdtair.com/origen-e-historia-de-la-ventilacion-mecanica-industrial-parte-2-de-2>
  19. Otto Reyes, L. M. (2006). *Calificación del sistema de HVAC en una planta de producción de IFA*. Obtenido de SciELO Cuba: <http://scielo.sld.cu/pdf/vac/v15n3/vac02306.pdf>



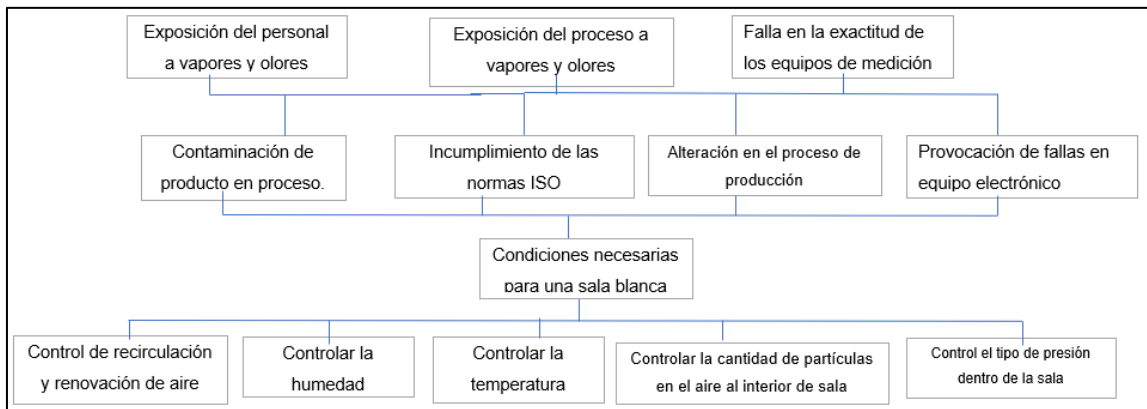
20. Palmeiras, T. C. (19 de Febrero de 2012). <https://publicaciones.fedepalma.org>. Obtenido de <https://publicaciones.fedepalma.org>
21. Perez, D. O. (04 de 02 de 2011). *SCRIBD*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/48137073/AUTOMATIZACION-DE-CUARTOS-FRIOS-PARA-AHORRO>
22. Perez, D. O. (04 de 02 de 2011). *SCRIBD*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/48137073/AUTOMATIZACION-DE-CUARTOS-FRIOS-PARA-AHORRO>
23. *RCR refrigeracion*. Obtenido de Evaporadores : <https://www.rcr.com.mx/evaporadores.php>
24. sSp. (25 de Septiembre de 2017). *HVAC Que es?* Obtenido de El Blog de la ventilación eficiente: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/hvac-que-es/>
25. Sanchez, I. J. (05 de 2009). *Psicometria*. Recuperado el 16 de 08 de 2021, de Termodinamica Aplicada: <https://termoaplicadaunefm.files.wordpress.com/2009/05/tema-v-psicometric3ada1.pdf>
26. Siber Ventilacion . *Siber Ventilacion Inteligente* . Obtenido de Que es y cual es el funcionamiento de un sistema HVAC: <https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/hvac-que-es-funcionamiento/>

27. Siber Ventilacion. *Que es y cual es el funcionamiento de un sistema HVAC*. Recuperado el 02 de 08 de 2021, de Siber Ventilacion inteligente: <https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/hvac-que-es-funcionamiento/>
28. Siber Ventilation. *Siber Ventilacion inteligente*. Obtenido de <https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/hvac/>
29. *Tesis uson Mx*. (15 de marzo de 1985). Obtenido de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/19117/capitulo4.pdf>
30. Ventus. (07 de Julio de 2012). *Historia del Aire Acondicionado*. Obtenido de Ventus: [http://ventuscommercial.com/noticias\\_detalle.asp?clc=409&id=4131](http://ventuscommercial.com/noticias_detalle.asp?clc=409&id=4131)
31. Yana, D. A., & Zavaleta, G. B. (2011). *SCRIBD*. Obtenido de <https://1library.co/document/yev6pe0z-adicion-canihua-chenopodium-pallidicaule-propiedades-quimicas-sensoriales-microbiologicas.html>



## 14. APÉNDICES

### Apéndice 1. Árbol de problema



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

## Apéndice 2. Matriz de coherencia

<b>Problema</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Metodología</b>
Para salas blancas se debe controlar la concentración de partículas en el aire, la humedad y la temperatura	Diseñar un sistema HVAC para laboratorios y determinar su valorización económica	Concentración de partículas en al aire, humedad y temperatura	Mínima concentración de partículas suspendidas en el aire.	Se diseña un sistema HVAC que nos permita controlar las variables
La sala blanca debe mantener una temperatura entre 18-20 °C. Humedad relativa entre 45-55 %. Presurizada positivamente 2-4 mm. Recircular el aire 15-20 veces	Establecer los requerimientos de instalación de un sistema HVAC en un laboratorio para cumplir con las condiciones requeridas por los procesos	Temperatura, humedad relativa, presurización y cantidad de veces que recircula el aire	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura entre 18-20 °C.</li> <li>• Humedad relativa entre 45-55 %</li> <li>• Presión positiva 2-4 mm H<sub>2</sub>O</li> <li>• Capacidad en cfm de la UMA</li> </ul>	Se establecen los valores ideales para cada una de las variables
¿Cuánto me va a costar hacer esto?	Determinar el valor económico total del proyecto	Cantidad de dinero	Valoración económica en quetzales	Se hace un presupuesto del proyecto.

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.