



Diseño e Implementación de Cabina de Desinfección Personal, para el Ingreso a los Galpones de Granjas Avícolas

**Juan José Peláez Herrera
Kevyn Makey Cerón Gasca**

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Neiva, Colombia
2021

Diseño e Implementación de Cabina de Desinfección Personal, para el Ingreso a los Galpones de Granjas Avícolas

**Juan José Peláez Herrera
Kevyn Makey Cerón Gasca**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Mecánico e Ingeniero Electrónico

Director (a):

Cristian David Hernández Puentes

Codirector (a):

Andrea Milena Marín

Línea de Investigación:

REM (Research in Energy and Materials)

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Neiva, Colombia

2021

Dedicamos este trabajo principalmente a Dios porque nos da vida y nos permite llegar a este momento tan importante en nuestra formación profesional. A nuestros padres principalmente ya que nos han apoyado a lo largo de nuestra vida y carrera universitaria, convirtiéndolos en el soporte más importante al mostrándonos su amor y apoyo incondicional. Para todas las personas especiales que nos acompañan en esta etapa, y han contribuido a nuestra formación profesional y formación humana, con sus conocimientos haciendo de esta experiencia una de las más especiales. Finalmente, queremos agradecer a las personas que apoyaron directa o indirectamente en la ejecución de este trabajo de grado.

Agradecimientos

El presente trabajo investigativo lo dedicamos principalmente a Dios, por darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados. A nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio durante todos estos años, gracias a ustedes, logramos llegar aquí y convertirnos en las personas que somos. Agradecemos también a todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos, como nuestros tutores, el ingeniero Cristian David Hernández Puentes, y la ingeniera Andrea Milena Marín, por habernos orientado en todos los momentos que necesitamos sus consejos.

Resumen

El propósito de este proyecto es construir una cabina de desinfección automatizada para mitigar el riesgo en la salubridad al ingreso de galpones de granjas avícolas por parte de los operarios, teniendo en cuenta que estos espacios deben tener un proceso de desinfección riguroso para aminorar la posibilidad de contraer enfermedades que generalmente son transmitidas por secreciones corporales de los operarios o cuidadores de las aves, partículas que se mezclan en el aire, el polvo o cualquier otro medio mecánico. Siendo un método que permite tener un control en el proceso a priori de la interacción con las aves, para ello se contara con un sistema de control de aspersion de desinfectante que cuente con los permisos nacionales y no afecte la salud ni prendas de los operarios, la automatización empleada de los procesos logra el funcionamiento en el proceso de aspersion y finalización de este.

Se comprobó mediante un análisis de cultivo bacteriano, entregando como resultado un 97% de eficiencia en la desinfección del operario. Se concluye que la cabina de desinfección logra con el objetivo de minimizar el riesgo biológico que tienen las aves al tener contacto con los operarios que ingresan a los galpones.

Palabras claves: Cabina de desinfección, Control de aspersion PID, Diseño estructural, Diseño Electrónico, Riesgo Biológico.

Abstract

The purpose of this project is to build an automated disinfection booth to mitigate the health risk to the entry of poultry farms sheds by operators, taking into account that these spaces must have a rigorous disinfection process to mitigate the risk of contracting diseases that are usually transmitted by body secretions of the operators or caretakers of the birds, particles that are mixed in the air, dust or any other mechanical means. Being a method that allows to have a control in the process a priori of the interaction with the birds, for this there is a control system of spray of disinfectant that has the national permits and does not affect the health or garments of the operators, The automation used in the processes achieves operation in the spraying process and completion of the process. It was verified by a bacterial culture analysis, giving as a result 97% efficiency in the disinfection of the operator. It is concluded that the disinfection booth achieves with the aim of minimizing the biological risk that birds have when having contact with operators who enter the sheds.

Keywords: Disinfection Cabin, PID sprays control, Structural design, Electronic design, Biohazard.

Contenido

AGRADECIMIENTOS.....	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT.....	VII
CONTENIDO.....	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
LISTA DE TABLAS	XII
LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS.....	XIV
INTRODUCCIÓN	15
CAPÍTULO 1.....	18
1. Marco Referencial	18
1.1 Marco Conceptual	20
1.1.1 Cabina de desinfección	20
1.1.2 Tipos de cabina de desinfección	21
1.1.2.1 Clase I	21
1.1.2.2 Clase II	21
1.1.2.3 Clase III	22
1.1.3 Materiales utilizados en las cabinas de desinfección	23
1.1.4 Sistemas de control para cabinas de desinfección	24
1.1.4.1 Control de aspersion	24
1.1.4.2 Sistemas de control PID	24
1.1.5 Sistema mecánico	25
1.1.5.1 Propiedades físicas de la cabina de desinfección	25
1.1.5.1.1 Masa.	25
1.1.5.1.2 Área	25

1.1.5.1.3	Fuerza	26
1.1.5.1.4	Volumen	26
1.1.6	Factor de seguridad	26
1.1.7	Sistemas hidráulicos	28
1.1.8	Tipos de sistemas hidráulicos	31
1.1.8.1	Sistemas hidráulicos de depósito separado	31
1.1.8.2	Sistemas hidráulicos de depósito unitario	31
1.1.8.3	Sistemas hidráulicos de depósito semiunitario	32
1.1.9	Tipos de bombas y sus aplicaciones	32
1.1.9.1	Bombas centrifugas	32
1.1.9.2	Bombas sumergibles	32
CAPÍTULO 2		34
2.	Diseño e implementacion del prototipo de la cabina de desinfección	34
2.1	Parámetros de diseño estructural e hidráulico de la cabina.	35
2.1.1	Parámetros Estructurales	35
2.1.1.1	Dimensionamiento estructural	37
2.1.1.1.1	Estructura cabina	¡Error! Marcador no definido.
2.1.1.1.2	Estructura del Reservorio	¡Error! Marcador no definido.
2.1.1.2	Propiedades del Material	41
2.1.1.2.1	Factor de seguridad de la estructura	47
2.1.1.3	Especificaciones de la estructura	¡Error! Marcador no definido.
2.1.1.4	Análisis estático estructural	42
2.1.1.4.1	Área de la lámina inferior de la estructura:	¡Error! Marcador no definido.
2.1.1.4.2	Peso para corroborar los resultados de CAD SolidWorks y los cálculos manuales son similares:	¡Error! Marcador no definido.
2.1.1.4.3	Área:	¡Error! Marcador no definido.
2.1.1.4.4	Tensión:	¡Error! Marcador no definido.
2.1.1.4.5	Calculó del volumen de la tubería cuadrada mayor:	¡Error! Marcador no definido.
2.1.1.4.6	Calculó del volumen de la tubería cuadrada menor:	¡Error! Marcador no definido.
2.1.2	Parámetros hidráulicos	48
2.2	Construcción de prototipo de la cabina de desinfección.	71
2.2.1	Construcción de la estructura de la cabina de desinfección.	72
2.3	Colocación de los sensores para la cabina de desinfección.	74
2.4	Diseño de controlador PID para sistema de aspersión.	81
2.4.1	Identificación de la Planta	81
2.4.2	Determinación de Kp Ki Kd	83
2.4.3	Diseño de controladores	84
2.5	Pruebas de funcionamiento de la cabina de desinfección.	¡Error! Marcador no definido.

CAPÍTULO 3	90
3. Resultados	90
3.1 respuesta del sistema con controlador PID	90
3.2 respuesta del controlador de aspersión frente a perturbaciones	92
CAPÍTULO 4	101
4. Conclusiones y Recomendaciones	101
4.1 Conclusiones	101
4.2 Recomendaciones	102
BIBLIOGRAFÍA	108

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1-1 CABINA DE SEGURIDAD BIOLÓGICA CLASE I. ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

FIGURA 1-2 CABINA DE SEGURIDAD BIOLÓGICA CLASE II. ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

FIGURA 1-3 CABINA DE SEGURIDAD BIOLÓGICA CLASE III. ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

FIGURA 1-4 GRAFICA DE ESFUERZO DE DEFORMACIÓN UNITARIA. ...¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

FIGURA 1-5 PRINCIPIO DE BERNOULLI. ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

FIGURA 1-6 ENERGIA EN UN SISTEMA DE FLUJO RAMIFICADO..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

FIGURA 2-1 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LOS PASOS PARA LA CONSTRUCCION DE LA CABINA DE DESINFECCIÓN..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

FIGURA 2-2 EXPLICACIÓN DEL DISEÑO FINAL DE LA CABINA DE DESINFECCIÓN. . ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

FIGURA 2-3 PROPIEDADES DEL MATERIAL AISI 1020 STEEL, COLD ROLLED¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

FIGURA 2-4 SUJECIONES Y FUERZA APLICADA EN LA ESTRUCTURA DE LA CABINA.
.....¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

FIGURA 2-5 ESPECIFICACIONES DE TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO.¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

FIGURA 2-6 PARÁMETROS Y MALLA RESULTANTE.....¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

FIGURA 2-7 DESPLAZAMIENTO DE LA ESTRUCTURA ...¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

FIGURA 2-8 TENSIONES DE VON-MISES EN LA ESTRUCTURA. ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

FIGURA 2-9 FACTOR DE SEGURIDAD DE LA ESTRUCTURA..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

FIGURA 2-10 DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO.¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

FIGURA 2-11 COEFICIENTE DE PÉRDIDAS POR ACCESORIOS. ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

FIGURA 2-12 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LOS PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CABINA DE DESINFECCIÓN.....¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

FIGURA 2-13 PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA CABINA DE DESINFECCIÓN.¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

FIGURA 2-14 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LOS PASOS PARA EL MONTAJE DE LA PARTE ELECTRÓNICA PARA LA CABINA DE DESINFECCIÓN....¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

FIGURA 2-15 CONEXIÓN ENTRE LA ELECTROBOMBA, RELÉ Y RASPBERRY.¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

FIGURA 2-16 CONEXIÓN ENTRE LA ELECTROVÁLVULA Y LA RASPBERRY AL RELÉ DE DOS CANALES.....¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

FIGURA 2-17 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PROGRAMACIÓN DE LA RAPSBERRY. ...¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

FIGURA 2-18 INTERFAZ REALIZADA PARA EL CONTROL DE SISTEMA DE ASPERSIÓN.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 2-19 DATOS DE LA ELECTROVÁLVULA EN MATLAB.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 2-20 RESPUESTA DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA CON DOS POLOS.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 2-21 RESPUESTA GRAFICA DEL CONTROL PID DEL SISTEMA DE ASPERSIÓN.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 2-22 DISEÑO DEL CONTROL PID.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 2-23 PARAMETROS DEL CONTROLADOR ZIEGLER-NICHOLS. ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
FIGURA 2-24 ENTRADA ESCALON AL MODELO DE LA PLANTA IDENTIFICADA.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 2-25 REPUESTA DE PASO DEL MODELO IDENTIFICADO. . ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
FIGURA 2-26 MODELO SIMULINK DEL CONTROLADOR.	87
FIGURA 2-27 PARAMETROS DEL CONTROLADOR.....	88
FIGURA 2-28 RESPUESTA CONTROLADOR ZN.	88
FIGURA 3-1 RESPUESTA CONTROLADOR PID DE ASPERSION.	90
FIGURA 3-2 RESPUESTA MATEMATICA ERROR PORCENTUAL DE LA GRAFICA REAL Y SIMULADA	105
FIGURA 3-3 ABERTURA DE ELECTROVALVULA MAYOR DEL 60%.....	105
FIGURA 3-4 ABERTURA DE ELECTROVALVULA MENOR DEL 20%.	106
FIGURA 3-5 PRUEBA DE COLORANTE CON TRAJE DE DESINFECCION.	96
FIGURA 3-6 SILUETA DEL TRAJE CON PRUEBA DEL COLORANTE.	97

FIGURA 3-7 TOMA DE MUESTRAS ANTES Y DESPUES DEL PASO POR LA CABINA **98**

FIGURA 3-8 RESULTADO DE MUESTRAS **99**

Lista de tablas

TABLA 2-1 DIMENSIONES DEL DISEÑO PROPIO DE LA ESTRUCTURA DE LA CABINA.
..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

TABLA 2-3 PRECIO DE LA LÁMINA EN ACERO INOXIDABLE, PVC Y TUBERÍA ACERO
LAMINADO EN FRIO. ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

TABLA 2-4 EVALUACIÓN DE CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DEL MATERIAL ¡ERROR!
MARCADOR NO DEFINIDO.

TABLA 2-5 LONGITUD DE TUBERÍA PARA CADA TRAMO DEL SISTEMA HIDRÁULICO.
..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

TABLA 2-6 VELOCIDADES DE CADA TRAMO DEL SISTEMA HIDRÁULICO..... ¡ERROR!
MARCADOR NO DEFINIDO.

TABLA 2-7 DEMOSTRACIÓN PASÓ A PASO DE PÉRDIDAS POR FRICCION EN EL TRAMO 1.
..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

TABLA 2-8 DEMOSTRACIÓN PASÓ A PASO DE PÉRDIDAS POR FRICCION EN EL TRAMO 2.
..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

TABLA 2-9 DEMOSTRACIÓN PASÓ A PASO DE PÉRDIDAS POR FRICCION EN EL TRAMO 3.
..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

TABLA 2-10 DEMOSTRACIÓN PASÓ A PASO DE PÉRDIDAS POR FRICCION EN EL TRAMO
4..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

TABLA 2-11 DEMOSTRACIÓN PASÓ A PASO DE PÉRDIDAS POR FRICCION EN EL TRAMO
5..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

TABLA 2-12 DEMOSTRACIÓN PASÓ A PASO DE PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN EL TRAMO 6.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 2-13 DEMOSTRACIÓN PASÓ A PASO DE PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN EL TRAMO 7.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 2-14 DEMOSTRACIÓN PASÓ A PASO DE PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN EL TRAMO 8 Y 9.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 2-15 PÉRDIDAS POR FRICCIÓN DEL TRAMO 1 HACIA LAS BOQUILLAS.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 3-1 MUESTRA DE DATOS OBTENIDOS POR EL SISTEMA REAL Y EL SISTEMA SIMULADO	91
TABLA 3-2 DATOS OBTENIDOS CON ABERTURA DE ELECTROVALVULA MAYOR DEL 60%	92
TABLA 3-3 DATOS OBTENIDOS CON ABERTURA DE ELECTROVALVULA MENOR DEL 20%.	93
TABLA 3-4 DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS DEL LABORATORIO	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Lista de Símbolos y abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura Término

<i>OPS</i>	Organización Panamericana de la Salud
<i>AEF</i>	Filtro air electret
<i>UV</i>	Ultra Violeta
<i>FENAVI</i>	Federación Nacional de Avicultores de Colombia
<i>PID</i>	Controlador proporcional, integral y derivativo
<i>HEPA</i>	Filtro de aire de partículas de alta eficiencia
<i>PLC</i>	Controlador Lógico Programable
<i>K_p</i>	Acción de control Proporcional
<i>K_i</i>	Acción de control Integral
<i>K_d</i>	Acción de control Derivativa
<i>FOS</i>	Factor de seguridad
<i>CAD</i>	Diseño Asistido por Computadora
<i>AISI</i>	American Iron and Steel Institute
<i>PVC</i>	Policloruro de vinilo
<i>LaF</i>	Lamina de pasarela
<i>UFC</i>	Unidades Formadoras de Colonias
<i>SI</i>	Sistema Internacional de medidas

Introducción

Actualmente la empresa Avícola la Dominga S.A.S de la ciudad de Neiva junto con otras empresas del sector, carecen de procedimientos de bioseguridad para el control de ingreso a los galpones, de acuerdo con la información suministrada por el departamento HSEQ (Trespacios, 2021). Esta situación puede ocasionar riesgos biológicos para la salud de los animales y la eventual aparición de enfermedades, debido al posible transporte de bacterias y virus entre las zonas de trabajo (Avicola, 2015). Los agentes patógenos generalmente son transmitidos a través de las secreciones corporales de los operarios o cuidadores de las aves, por vía aérea o por contacto físico, ya que estos pueden ser transportados en la ropa y/o calzado de los trabajadores (Federico, 2009); la bronquitis infecciosa y el coriza infeccioso son algunos ejemplos de estas afectaciones (Romero, 2021).

El ministerio de salud y protección social por medio de la resolución 242 de 31 de enero del 2013, regula los requisitos y condiciones sanitarias en cuanto a temas de salubridad y desarrollo de la actividad comercial para empresas o plantas de beneficio que manipulen aves de corral (Ministerio de Salud y protección social. Resolución 0242, 31/01/2013) (social, 2013); esta reglamentación contempla los procedimientos de cuidado personal en el lugar de trabajo, los procesos de desinfección y control en bioseguridad, entre otros. Siendo este un insumo fundamental para el manual de normas básicas y el control riguroso en temas de bioseguridad en los diferentes procesos ejecutados en el sector avícola. FENAVI (Federación Nacional de Avicultores de Colombia), también propone una serie de estrictos protocolos de bioseguridad para el control y prevención de diferentes riesgos de bioseguridad, que van desde el lavado de manos hasta la desinfección de vehículos que entran y salen de la granja (FENAVI, 2019).

Por tanto, en el marco de un óptimo desempeño de las empresas avícolas es importante contar con estándares de calidad que permitan mantener a las aves y a los operarios en óptimas condiciones de salubridad cumpliendo con las normas referentes al control de la bioseguridad. En este sentido se hace necesario implementar un conjunto de prácticas para prevenir la entrada y transmisión de agentes patógenos que puedan afectar la sanidad de las aves en una unidad de producción avícola tecnificada de postura comercial (Ayala S. E., 2016).

Sin embargo, a pesar de la existencia de políticas y requerimientos por parte del ministerio de salud y protección social y de la federación del sector avícola para un riguroso control de la bioseguridad, algunas de las granjas existentes a nivel regional no cuentan con este tipo de procedimientos tales como un sistema de desinfección para el ingreso de operarios a los galpones (Trespacios, 2021). Esto sería un impedimento para el funcionamiento de las empresas, podría causar la pérdida de la certificación de control de calidad y hasta el cierre permanente de estas.

Sumada esta problemática, podría existir una alta probabilidad de transmisión de enfermedades y bacterias a las aves, razón por la cual se hace imperativo el desarrollo de procesos de bioseguridad, tales como el diseño e implementación de un control estricto para la desinfección del personal en la zona comprendida entre el vestier y el área de ingreso de los galpones (Avicola, 2015).

En este sentido una cabina podría convertirse en una alternativa para el control de desinfección en cualquier unidad de producción avícola, sin embargo, en la mayoría de los trabajos de investigación consultados, se logró constatar que hasta el momento este tipo de dispositivos se han desarrollado especialmente para el tema de emergencia sanitaria por COVID19 y que estas fueron desarrolladas empíricamente.

Por tanto, el presente proyecto pretende contribuir a la mitigación de las problemáticas anteriormente expuestas, por medio del diseño e implementación de una cabina de desinfección personal para el ingreso a los galpones de granjas avícolas. Por tanto, se busca ayudar a las granjas avícolas, a moderar el riesgo biológico de transferencia de patógenos de operarios a las aves.

Para el desarrollo de este dispositivo se requirió poner en práctica los conocimientos de ingeniería con el propósito de cumplir con los requerimientos de control de calidad y eficiencia reglamentados para el sector, también se tuvieron en cuenta los parámetros de diseño estructural e hidráulicos para la construcción del prototipo y el desarrollo de un controlador PID para el sistema de aspersión.

Existen diversas clases de cabinas de desinfección, sin embargo para el presente proyecto de investigación se eligió la clase I (OPS, 2002), ya que este tipo se caracteriza por suministrar protección al ambiente y al personal, mediante el suministro del desinfectante a través del aire

Así mismo la solución desinfectante de la cabina cumple un papel importante ya que permite disminuir el riesgo biológico existente en las granjas avícolas, generalmente los productos más utilizados en las avícolas son aquellos que son de uso veterinario y no tóxico (Ospina J.S, 2012). Algunos de los más utilizados en las avícolas son el Dectocide SB7 o H21 (Betelgeux, 2021), Kresso (Kresso, 2021), Vanodine (Vanodine, 2021), y Virkon (Virkon, 2021), Maxo Nomic 60 (Maxo Nomic60, 2021), debido a que la eficacia de estos desinfectantes ha sido comprobada en los animales de producción y en los animales domésticos.

La cabina estaría ubicada justo antes de que el operador entre al galpón esto con el fin de hacer una desinfección más rigurosa y que al momento de tener contacto con el galpón o los animales ya el traje se encuentre desinfectado, y de igual manera el operador tenga su debida desinfección para proteger su salud.

Los trabajos relacionados con las cabinas de desinfección para las granjas avícolas son pocos aun, sin embargo, esta es una aplicación promisoría de este tipo de método de desinfección, pues presenta una distribución organizada desde su diseño estructural hasta su automatización en el sistema de aspersion.

El propósito de este trabajo de investigación es diseñar e implementar una cabina de desinfección automatizada para el ingreso a los galpones de las avícolas. Para esto se implementó los métodos de diseño en SolidWorks para los parámetros estructurales y matemáticos para los parámetros hidráulicos desde la ingeniería Mecánica. Por parte de la ingeniería electrónica, al buscar una mejor función de sus componentes electrónicos, se implementó un Controlador proporcional, integral y derivativo (PID) automatizando la cabina de desinfección. Finalmente, se realizaron pruebas de funcionamiento. Para evidenciar su eficiencia en la esterilización del personal, se comprobará mediante un análisis de cultivo bacteriano, demostrando así el cumplimiento del propósito.

Capítulo 1

1. Marco Referencial

En esta sección del documento se hace una revisión de las técnicas utilizadas y los conceptos relevantes asociados con el desarrollo de la investigación como el diseño de la cabina de desinfección, la etapa de potencia y el sistema de aspersion. También se abordan temas relacionados con las patologías que se presentan con mayor frecuencia en este el sector avícola, siendo estas definiciones imprescindibles para comprender el enfoque del presente trabajo.

1.1 Estado de arte

A nivel mundial se puede evidenciar que existe un uso regular de cabinas de desinfección para la esterilización y limpieza para áreas de trabajo, personas, animales, entre otras. Esta situación se puede constatar en diversos estudios tal como el realizado por la Organización Panamericana de la Salud (OPS), en este se demostró que en las granjas avícolas los métodos de desinfección toman un alto grado de importancia, debido a que al implementar estos procedimientos se presenta un aumento de la productividad de la parvada y del rendimiento económico (O. P. D. L. SALUD,2020) (Ricaurte G,2005).

Este método de esterilización es muy conveniente para las granjas avícolas, ya estas pueden aplicar este método a su necesidad y conveniencia, teniendo en cuenta que la desinfección previa se hace necesaria con el propósito de evitar la entrada de agentes patógenos que puedan afectar la salud del operario (Ricaurte G,2005), también, es usado para la desinfección de animales (Sánchez cesar, 2020) y materiales infectados por algún manejo de sustancias (O. P. D. L. SALUD,2020).

En otro estudio consultado se exponen los tipos de cabinas de desinfección existente; la de clase I se caracteriza por suministrar protección al personal y al ambiente, sin embargo su desventaja es que no ofrece este beneficio al producto. La clase II protege al personal, al ambiente y al producto, se caracteriza por tener varios subtipos: (A, B1, B2 y B3), que se distinguen por el filtro que utilizan y su ubicación. La clase III se distingue por ser totalmente cerrada y está diseñada para el trabajo con agentes microbiológicos de categoría de bioseguridad 4.

Por otro lado en 2002, Zhenzhong Wang, Yunxian Li, Zhongfu Xia, Guangbo Xue, Jian Jiang, Baorong Chen, Ximing Sun, Guoxing Wang y Honglin Zhao, implementaron un

proyecto (Lundquis,2002) el cual describe un filtro air electret (AEF), que es un tipo de equipo desinfectante air electret utilizado para esterilizar las habitaciones de los pacientes y los quirófanos de un hospital. El dispositivo está compuesto por una película de PP electret de 30 mm de ancho, cargada con un cierto potencial, y una lámina de aluminio corrugado de 30 mm de ancho y 0,12 mm de espesor, enrollada en una unidad filtrante cilíndrica con un diámetro de 58 mm.

También, en 2009, Soojung Lim y Ernest R. Blatchley III, (R. E. I. Lim S,2009) efectuaron una investigación relacionada con la eficacia de los procesos basados en el suministro de UV por medio de un reactor y la respuesta a la dosis por parte de un microbio objetivo. El objetivo de esta investigación consistió en el desarrollo de un sistema UV para la desinfección del aire de cabina basado en métodos bien definidos de caracterización de reactores y reacciones. El comportamiento dosis respuesta de un microorganismo de prueba se midió utilizando un sistema de laboratorio. Este enfoque de modelación permitió estimar la distribución de la dosis de UV entregada por el reactor, por medio de la simulación de muchas configuraciones del reactor en un período de tiempo relativamente corto.

Además en el 2012 se realizó una investigación sobre un dispositivo tipo Vapor Cleaner, este es un sistema sanitizante automatizado diseñado para ser utilizado en establecimientos de consumo, edificios, oficinas y residencias; con el fin de preservar la higiene y medidas de seguridad el ingresar a dichos establecimientos. El funcionamiento de este se basaba en una estación operando en modo de reposo hasta que un usuario ingresaba y se posicionaba en un tapete sanitizante, que contaba con un sensor de presión en la parte inferior por medio del cual se inicializaba el sistema. Inicialmente el usuario se aproximaba al termómetro infrarrojo para la medición de temperatura, si estaba dentro de los límites adecuados se encendía una luz verde y se procedía con el proceso de sanitización, de lo contrario, se encendía una luz roja terminando el ciclo y negando el acceso al establecimiento. El sistema de sanitización estaba compuesto por un rociador en forma de “U” invertida y un servomotor, para proporcionar una nebulización de 360 grados (ida y vuelta). Finalmente, el usuario se acercaba al dispensador automático para aplicar gel antimaterial en sus manos y se le concedía el acceso al establecimiento (G. A. S. Rivas,2012).

Así mismo, en 2016, A. G. Vozmilov, R. Yu. Ilimbetov y D. V. Astafevse llevaron a cabo una investigación (R. Y. I. a. D. V. A. A. G. Vozmilov,2016) donde muestra el posible uso del ozono en la industria agrícola y la concentración de ozono necesaria para diversos procesos tecnológicos. También se mostraban los resultados de usar un equipo de electro filtración para aumentar la producción de ozono al interior del gabinete de la incubadora y el porcentaje de producción de pollos sanos que permanecieron en esta en la granja avícola en Chelyabinsk. Este estudio demostró que el uso del mencionado dispositivo permitió aumentar la concentración de ozono deseada en el aire ambiente del gabinete de la incubadora.

En 2020, Jennifer L. Cadnum, Daniel F. Li, Sarah N. Redmond, Amrita R. John, Basya Pearlmutter, y Curtis J. Donskey, utilizaron una modificación del método cuantitativo

estándar de prueba de disco portador de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales para examinar la eficacia de 3 métodos, incluida la luz ultravioleta-C, un armario de desinfección de alto nivel que genera ácido peracético y peróxido de hidrógeno en aerosol, y calor seco a 70°C durante 30 minutos.

También en 2020, fue diseñado un túnel de desinfección automatizada para prevenir COVID-19 en UNIANDES Quevedo – Ecuador. El túnel de desinfección contaba con un alto y ancho de 2 metros, se observaba el accionamiento del sensor de temperatura al momento de detectar el ingreso de una persona, una vez cruzaba se activaba la bomba de agua y se esparcía una pequeña neblina de amoníaco disuelto con agua, al final del túnel se observaba el funcionamiento del sensor de temperatura mostrando en rojo una temperatura pasada los 37 grados y verde de 37 hacia abajo (Kevin Lester Guerrero-Burgos,2020).

1.2 Marco Conceptual

1.2.1 Cabina de desinfección

También conocidas como cabina de flujo laminar y/o de seguridad biológica, tienen la capacidad de esterilizar y cubrir la superficie de la ropa y la piel de las personas que puedan contener las bacterias o virus. Diseñadas para realizar un proceso de desinfección antes de ingresar a lugares públicos o privados que requieran una esterilización. La aspersion del líquido utilizado se realiza mediante un proceso llamado "amplio espectro", en el que se mezcla agua con otros ingredientes y esta puede ayudar a eliminar el 99,9% de la mayoría de los microbios. La desinfección es necesaria, ya que hace que la capa protectora del virus sea vulnerable, provocando la muerte o pérdida de impacto de este microorganismo en las personas (SALUD, 2020).

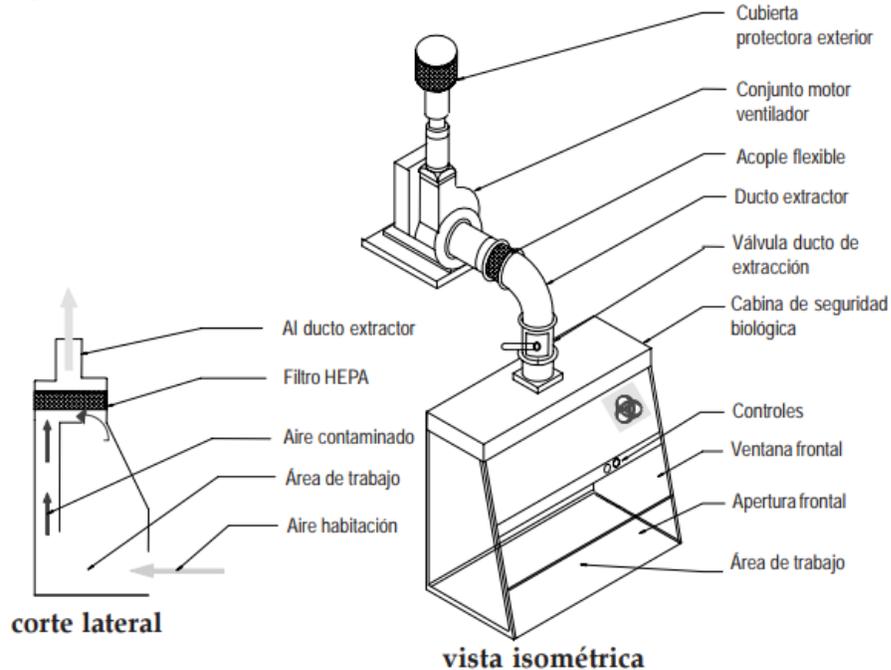
1.2.2 Tipos de cabina de desinfección

1.2.2.1 Clase I

Este tipo de cabina ofrece protección al operador y al ambiente, adecuada para trabajar con agentes infecciosos clasificados en los niveles de bioseguridad 1,2 o 3. Utiliza un sistema llamado filtro de aire de partículas de alta eficiencia (HEPA) (Farr, 2019), este método permite retirar la mayoría de partículas dañinas y puede estar o no acoplado a un sistema de extracción conectado al exterior (OPS, 2002). En la

Figura 1-1 se visualiza un diseño de cabina de seguridad biológica Clase I.

Figura 1-1: Cabina de seguridad biológica Clase I.



Fuente: Tomado de Cabinas de seguridad biológica: Uso, desinfección y mantenimiento (p. 12) (OPS, 2002).

1.2.2.2 Clase II

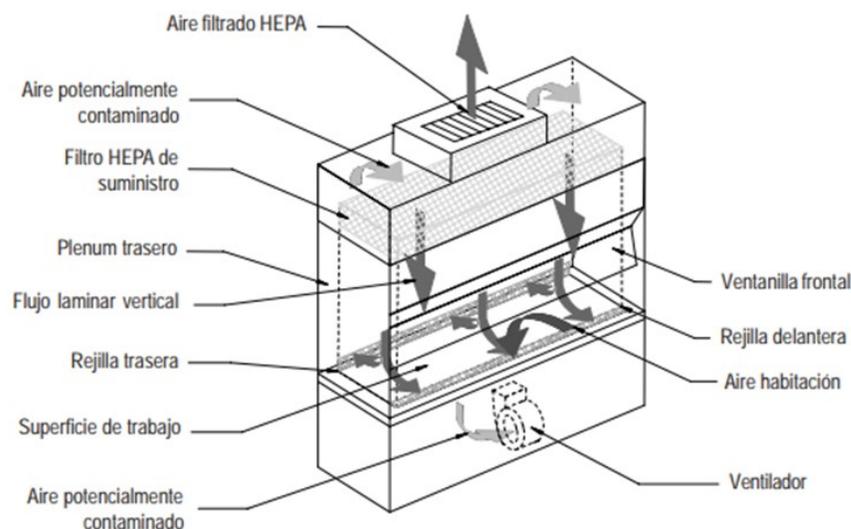
Ofrece protección al operador, al producto y al ambiente, idóneo para trabajar con agentes infecciosos clasificados en los niveles 1,2 y 3 de bioseguridad, al igual que la clase I. Estas cabinas tienen dos rejillas, una frontal y una trasera. El aire del lugar de trabajo se aspira

a través de la rejilla frontal y pasa por el trabajador a una cierta velocidad, aislándolo del agente patógeno existente en la cabina (OPS, 2002).

Tiene un filtro HEPA por el que se suministra un flujo del aire vertical laminar, que tiene el objetivo de proteger el producto y prevenir la posibilidad de contaminación cruzada a lo largo de la superficie de trabajo. Además, cuenta con un segundo filtro HEPA denominado de extracción por el cual se expulsa el aire que se encuentra en la máquina. En la

Figura 1-2 se puede evidenciar un diseño de cabina de seguridad biológica clase II.

Figura 1-2: Cabina de seguridad biológica Clase II.



Fuente: Tomado de Cabinas de seguridad biológica: Uso, desinfección y mantenimiento (p. 14) (OPS, 2002).

- Tipo A: Se conoce como cabina tipo A, cuando se recicla el aire dentro del área de trabajo.
- Tipo B: Se sabe que es una cabina tipo B porque se extrae el aire a través de un ducto.

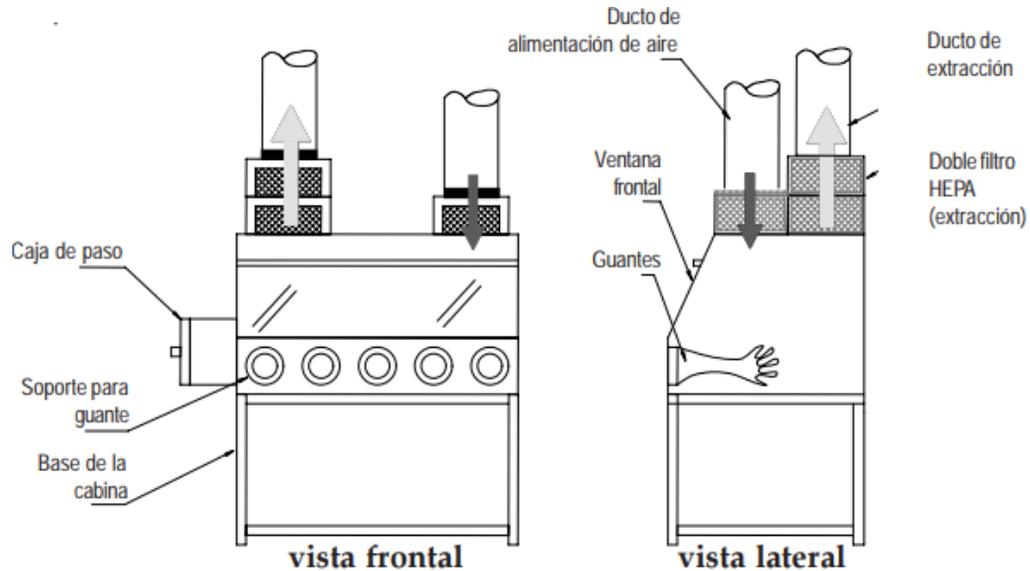
1.2.2.3 Clase III

Al igual que la cabina de desinfección Clase II, esta protege al operador, al producto y al ambiente. A diferencia de las dos clases anteriores esta clase cuenta con dos filtros HEPA en serie en la extracción y un filtro HEPA de admisión, este tipo es adecuado para trabajar

con agentes patógenos de nivel 4 de bioseguridad. Generalmente estas cabinas tienen un diseño de estructuras totalmente selladas, el ingreso y la extracción de elementos se efectúa a través de una caja de paso de doble puerta (OPS, 2002). En la

Figura 1-3 se visualiza un diseño de cabina de seguridad biológica Clase III.

Figura 1-3: Cabina de seguridad biológica Clase III.



Fuente: Tomado de Cabinas de seguridad biológica: Uso, desinfección y mantenimiento (p. 20) (OPS, 2002).

1.2.3 Materiales utilizados en las cabinas de desinfección

En diferentes trabajos previamente realizados sobre diseño y construcción de cabinas de desinfección (Guerrero K, 2020) y (Ayala & Zapata, 2016), se pudo comprobar que los materiales más comúnmente utilizados, optan por utilizar tuberías y láminas de Policloruro de vinilo (PVC), ya que, este es un material ligero y químicamente inofensivo e inerte (ASOVEN, 2020).

1.2.4 Sistemas de control para cabinas de desinfección

La función de este sistema es gestionar o regular el comportamiento de otro sistema para evitar errores o mal funcionamiento. Esta técnica es una de las más utilizadas en la industria.

El sistema de control consta de varios dispositivos o que estos sistemas tengan una lógica de al menos tres elementos que son: una variable la cual se deba controlar, un actuador, y un punto de referencia (set-point).

1.2.4.1 Control de aspersión

Algunos de los sistemas de control que se han implementado en el diseño y construcción de cabinas de desinfección son Raspberry Pi (Guerrero K, 2020) y Controlador Lógico Programable (PLC) (Ayala & Zapata, 2016). La Raspberry Pi, se usa ya que esta herramienta puede adaptarse a diferentes necesidades tal como indican (Upton & Halfaeree, 2014), ya sea como servidor de impresión o como herramienta de monitorización.

En el caso del PLC, es utilizado en la Ingeniería automática y / o Automatización Industrial, siendo esta una computadora que automatiza procesos electro-hidráulicos, electro-mecánicos, entre otras. Siendo este diseñado para trabajos que contengan múltiples entradas y múltiples salidas (Mandado, 2009).

1.2.4.2 Sistemas de control PID

Es un instrumento de control de realimentación síncrono, en el que se calcula la desviación o error entre el valor medido y el esperado.

El algoritmo de control PID se utilizan en los sistemas de control industrial, se compone de tres parámetros: proporcional, integral y derivativo. El valor proporcional se ve afectado por el error actual, la integral del error pasado y la predicción del error futuro de la derivada. La suma de estas tres acciones se utiliza para ajustar el proceso a través de elementos de control (la posición de una válvula de control). Este sistema de control siempre se considera el controlador más adecuado. Después de ajustar las tres variables en el algoritmo de control, el controlador proporcionará una acción de control adaptada a los

requisitos específicos del proceso para obtener el valor de error como respuesta (Rivera, 1986).

1.2.5 Sistema mecánico

Los mecanismos son dispositivos que están compuestos por un conjunto de elementos que convierten el movimiento en un patrón específico, generalmente transmiten fuerzas bajas y transmiten poca potencia. Un mecanismo es un medio de control y transmisión de fuerzas significativas (Encyclopædia Britannica, 2020).

El sistema mecánico de la cabina de desinfección está compuesto por el diseño estructural, propiedades físicas, materiales y el factor de seguridad.

1.2.5.1 Propiedades físicas de la cabina de desinfección

1.2.5.1.1 Masa.

Es la cantidad de materia que contiene un cuerpo, esta es invariable, es decir, no cambia. Su unidad internacional es el Kilogramo (Kg) (Fleinser, 2012). En la ecuación (1-1), se visualiza la fórmula utilizada para hallar la masa total de la cabina de desinfección.

$$m_t = m_e + m_p \quad (1-1)$$

m_t = Masa total de la estructura de la cabina

m_e = Masa de la estructura

m_p = Masa de la placa (malla de pasarela)

1.2.5.1.2 Área

Permite determinar la extensión de una superficie. El área es una magnitud definida por dos dimensiones. Las unidades internacionales son pulgadas cuadradas, centímetros o millas cuadrados (Felix Lages, 1852). En la ecuación (1-2), se muestra la fórmula utilizada para hallar el área de la cabina.

$$A = l^2 \quad (1-2)$$

A = Area

l = lado

1.2.5.1.3 Fuerza

Es un fenómeno o trabajo físico capaz de variar la cantidad de movimiento de un cuerpo, según el punto de intensidad y dirección. Teniendo en cuenta la mecánica clásica, la fuerza influye sobre un cuerpo y este es responsable de los cambios en su movimiento (Academy, 2021). En la ecuación (1-3), se visualiza la fórmula para hallar la fuerza que se aplica en la cabina de desinfección.

$$F = m \times a \quad (1-3)$$

m = masa

F = Fuerza aplicada

a = aceleracion

1.2.5.1.4 Volumen

Es una métrica tridimensional utilizada para medir el espacio ocupado por un objeto. La unidad internacional del volumen es el metro cubico (Connor, 2019). En la ecuación (1-4), se muestra la fórmula utilizada para calcular el volumen de la cabina de desinfección.

$$V = (h \times a \times l) \quad (1-4)$$

V = volumen

h = altura

a = ancho

l = largo

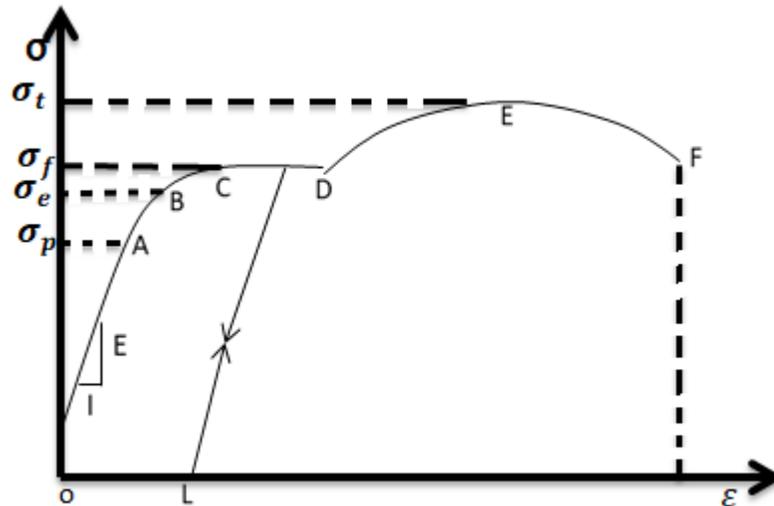
1.2.6 Factor de seguridad

Es el coeficiente entre el valor calculado del esfuerzo último del material que está hecho el elemento y el valor del esfuerzo permisible del sistema, el cual siempre se trabaja dentro del rango elástico del material, una zona que se puede evidenciar en la

Figura 1-4 sobre la superficie que abarca la recta que se forma entre los puntos O-A, también conocido el sector de proporcionalidad que existe entre el esfuerzo y la deformación unitaria producida por cargas axiales. El valor resultante del factor de

seguridad será mayor que uno, e indicará la capacidad máxima del sistema (Nisbett, 2011). En la Ecuación (1-5), se visualiza la expresión matemática del factor de seguridad.

Figura 1-4: Grafica de esfuerzo de deformación unitaria.



Fuente: Resistencia de materiales, (Cervera M, 2003)

$$FS = \frac{F_{falla}}{F_{permis}} \quad (1-5)$$

Dónde:

FS = Factor de seguridad.

F_{falla} = Carga de falla.

F_{permis} = Carga permisible

Considerando que, si la carga aplicada al componente o pieza está relacionada linealmente con la tensión generada en la pieza, se puede utilizar la fórmula (1-6), en la que el factor de seguridad se expresa como la causa del esfuerzo de falla al esfuerzo permisible (Hibbeler R.C, 2006).

$$FS = \frac{\sigma_{falla}}{\sigma_{permis}} \quad (1-6)$$

Dónde:

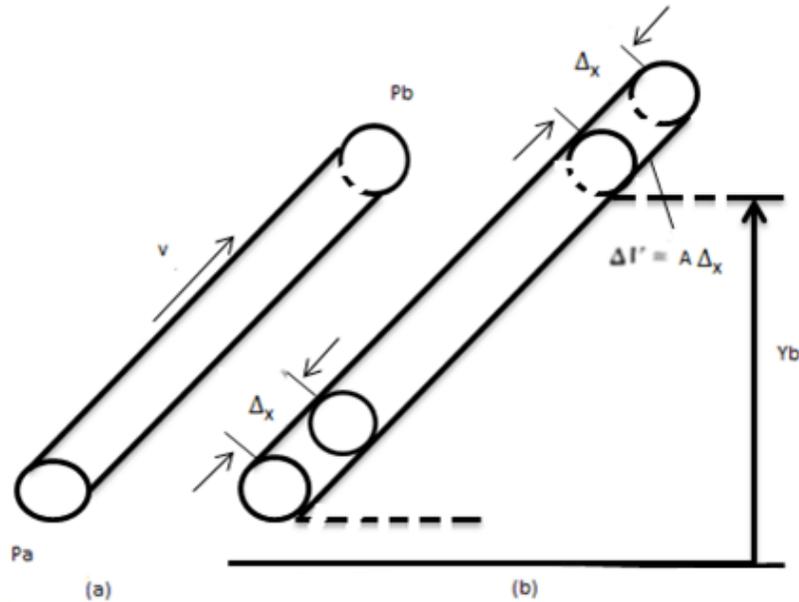
σ_{falla} = Tensión de falla.

σ_{permis} = Tensión permisible.

1.2.7 Sistemas hidráulicos

Los sistemas hidráulicos son utilizados en los sectores industriales, manejando fluidos bajo presión que son transportados de un lugar a otro para cumplir diferentes funciones, una de ellas se puede considerar en la implementación de la cabina de desinfección dado que se pulveriza el desinfectante antes de esparcirse sobre los operarios. Entre los componentes que se pueden encontrar en la implementación del proyecto son las bombas centrífugas, tuberías en serie, paralelo o ramificada, entre otras (Parr, 1991).

Dentro de los fundamentos importantes para considerar en el proyecto, se encuentra el principio de Daniel Bernoulli en 1738 explica el comportamiento de como la velocidad de un fluido se relaciona con la presión del fluido en movimiento, es decir, la hidrodinámica. Bernoulli explico los cambios de presión que existían durante el movimiento de un fluido ideal por medio de un conducto cerrado, la energía que posee el fluido permanece constante a lo largo de su recorrido (Bernoulli). A continuación, se observa la **Figura 1-5**, donde se visualiza el tramo (a) donde el fluido en un tramo del tubo tiene la misma velocidad en sus dos puntos y (b) donde este se ha desplazado a una pequeña distancia.

Figura 1-5: Principio de Bernoulli.

Fuente: Tomado de Física (J.W. Kane, 2006).

La ecuación de Bernoulli estudia el equilibrio de fuerzas sobre las partículas de fluido que circulan a través de una corriente lineal, esta ecuación es frecuentemente utilizada debido a que expresa el intercambio de energía a lo largo del recorrido del fluido, donde se tiene en cuenta situaciones como las pérdidas por fricción de las bombas o algún elemento que puedan aumentar la energía al fluido (Bernoulli). En la Ecuación (1-7) se visualiza el principio de Bernoulli.

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2 \quad (1-7)$$

Dónde:

p_1 = Presión del fluido del punto evaluado en 1.

p_2 = Presión del fluido del punto evaluado en 2.

ρ = Densidad del fluido.

g = Aceleración.

v_1 = Velocidad del fluido del punto evaluado en 1.

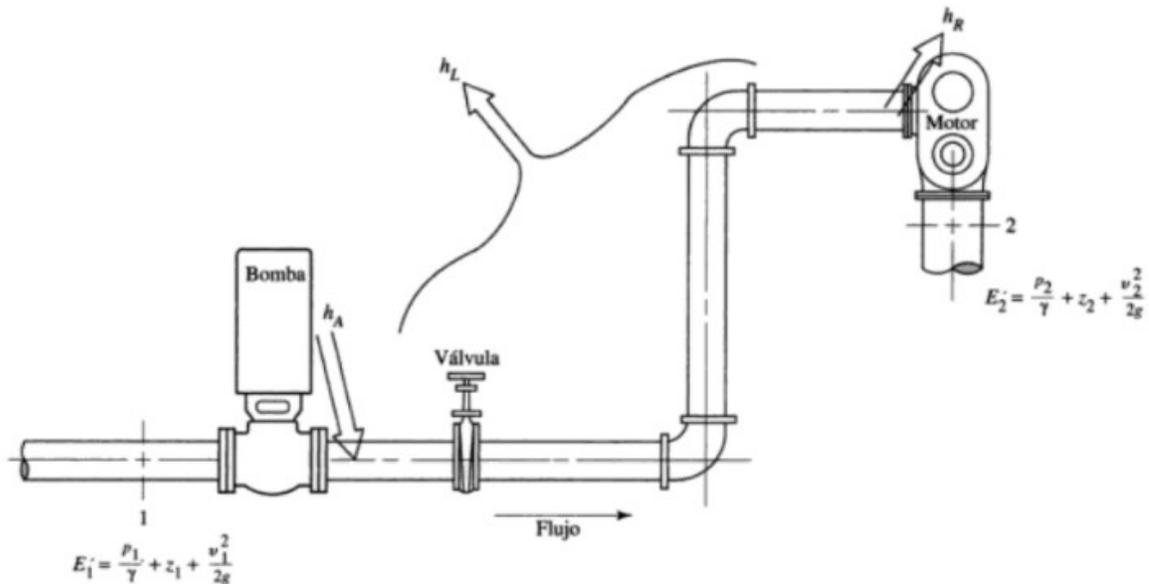
v_2 = Velocidad del fluido del punto evaluado en 2.

y_1 = Altura del fluido del punto evaluado en 1.

y_2 = Altura del fluido del punto evaluado en 2.

Teniendo esto en cuenta, también hay tubos de flujo ramificados que parten de un tanque o reservorio que se utiliza como fuente de flujo. Por gravedad o por medio de una bomba centrífuga, se distribuye el fluido a dos o más elementos de descarga. Para asignar diámetros a los ramales, se procede a trabajar por secciones, donde se inicia desde la zona más remota caracterizada por tener menor presión (Punto 1) y se aplica la ecuación de la energía como se visualiza en la **Figura 1-6**, no obstante, se debe tener en cuenta el efecto de pérdida de carga, descrita a través de la ecuación de Darcy-Weisbach, ya que esta ecuación permite ser usada por su variabilidad en diferentes parámetros como en la temperatura del fluido, diferentes velocidades, longitud y diámetro de tubería (ver ecuación 1-8). Dado esto, el cálculo de las perdidas por fricción en esta ecuación impide cuantificar analíticamente el factor de fricción, debido a este problema, surgieron ecuaciones más sencillas como la de Hazen-William y la de Colebrook-White (Flechas R.A, 2012).

Figura 1-6 Energía en un sistema de flujo ramificado.



Fuente: Tomado de Mecánica de fluidos (Mott L.R, 2006)

Es de gran importancia utilizar la ecuación general de la energía como se visualiza en la ecuación (1-8), para los sistemas de flujo ramificados y que esta se escriba en la dirección del flujo, debido que la cantidad de energía por unidad de peso depende de cada posición del elemento, donde podría ganar, remover o perder energía. Dado que esa situación permite analizar cargas, presiones y velocidades de un punto inicial a un punto final. Esta ecuación es vital porque es una situación que se representara en el sistema hidráulico.

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (1-8)$$

Dónde:

$\frac{p_1}{\gamma}$ = Carga de presión tramo 1.

z_1 = Carga de elevación tramo 1.

$\frac{v_1^2}{2g}$ = Carga de velocidad tramo 1.

$\frac{p_2}{\gamma}$ = Carga de presión tramo 2

$\frac{v_2^2}{2g}$ = Carga de velocidad tramo 2.

h_A = Impulso de la bomba transfiere al fluido

h_R = Remueve energía (retira parte de la energía para mover un elemento externo)

h_L = Energía disipada y perdida

1.2.8 Tipos de sistemas hidráulicos

Los sistemas hidráulicos se adaptan a las condiciones de trabajo, estas pueden ser reguladas por la hidráulica, mecánica o electrohidráulicamente. Estos sistemas regulan el caudal, la presión y la dirección del flujo (Mott, 2006). Se pueden encontrar tres tipos de sistemas hidráulicos:

- **Sistemas hidráulicos de depósito separado**

Este sistema es aquel en el que todos los elementos que lo componen están separados o ubicados en lugares diferentes del equipo (Zhang, 2018).

- **Sistemas hidráulicos de depósito unitario**

Este modelo está diseñado para que todos los elementos del equipo estén ubicados en una sola unidad (Zhang, 2018).

- **Sistemas hidráulicos de depósito semiunitario**

Este sistema es una combinación de los dos sistemas anteriores; regularmente es caracterizado por tener depósito, bomba, y el sistema de control en una sola unidad o cuerpo. Los cilindros de equipo usualmente se ubican en los diferentes sitios de trabajo (Zhang, 2018).

1.2.9 Tipos de bombas y sus aplicaciones

Las bombas se diferencian según la característica de movimiento de los líquidos, y a su vez en la aplicación específica con la que cada una de ellas fue diseñada (Heras, 2018).

- **Bombas centrífugas**

Estas bombas transforman la energía mecánica de un impulsor en energía cinética de un fluido, la presión del fluido aumentara en la entrada hasta su salida. En este caso, la entrada del líquido es axial porque es paralela al eje de la bomba, una vez pasa el líquido por el rotor se imprime la energía mecánica para transformarla en energía cinética (Gulich, 2014).

- **Bombas sumergibles**

Son utilizadas en el sector industrial y en el doméstico, teniendo en cuenta que estas no necesitan preparación y no son propensas a la cavitación.

Esta bomba es de tipo centrífuga, ya que cuenta con impulsores que expulsan el agua, estos se conectan en serie a un eje que se impulsa por un motor de inducción. Cuando el líquido ingresa a través de los impulsores se expulsa radialmente debido a la acción centrífuga, de esta manera las partículas de agua ganan energía cinética y de presión. Al estar conectados los impulsores en serie aumenta la ganancia de presión en cada etapa, por esta razón las bombas sumergibles producen una mayor cantidad de altura de presión. Presenta una desventaja, ya que cuenta con una válvula de retención no cerrada y esta tiene problemas en el bombeo a gran altitud (Schmidt, 2000).

- **Bombas periféricas**

Son denominadas también como turbobombas, vértice y regenerativas. Este tipo de bomba genera remolinos en el agua mediante los álabes en altas velocidades, las cuales se forman a través de impulsos de energía con fuerza en el impulsor. Estas pueden proporcionar alta presión de escape a través de motores de baja potencia. Aptos para uso industrial y doméstico (Van Gelder, 2020).

Algunas aplicaciones de estas bombas son:

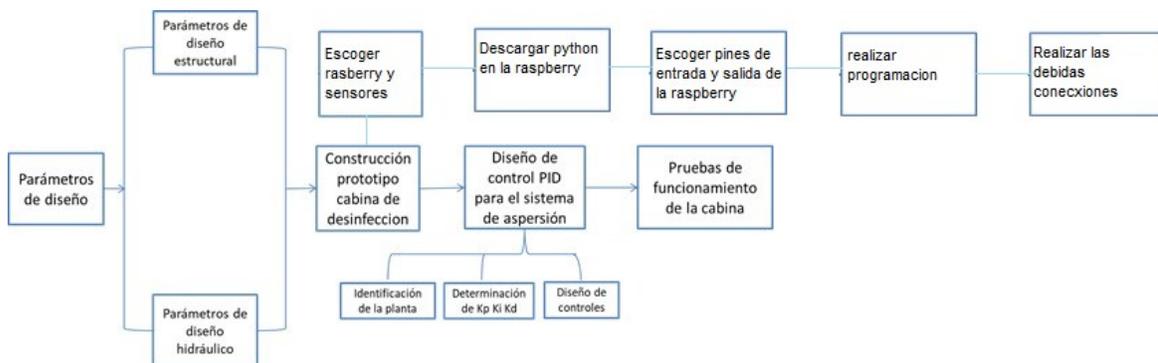
- El llenado de un tanque de agua superior y bebederos.
- La refrigeración de la máquina.
- Sistema de presión (Van Gelder, 2020).

Capítulo 2

2. Diseño e implementación del prototipo de la cabina de desinfección

En esta sección del documento se presenta la metodología empleada para diseñar y posteriormente construir la cabina de desinfección que se implementará en una granja avícola, desarrollo que se logra evidenciar en la **Figura 2-1**, iniciando por el proceso del planteamiento de parámetros de diseño, en el que se involucran el de tipo estructural e hidráulico. Ya luego se hizo la construcción del prototipo, el diseño del control PID para el sistema de aspersión, identificación de la planta, la determinación de la acción de control proporcional (K_p), acción de control integral (K_i), y acción de control derivativa (K_d), el diseño de controles y la sintonización de todo el sistema de control en la cabina, finalizando con la realización de pruebas experimentales.

Figura 2-1: Diagrama de bloques de los pasos para la construcción de la cabina de desinfección.



Elaboración propia.

De forma resumida la **Figura 2-1** presenta mediante diagrama de bloques las etapas principales para el desarrollo de la cabina, cuyo objetivo es esterilizar el personal que ingresa a los galpones de las avícolas. Es importante señalar que para la corroboración del grado de desinfección, se realizó mediante un hemocultivo de diferentes parte del

cuerpo del operador antes y después de ingresar a la cabina, logrando de este modo determinar la correcta aspersión del antiséptico.

2.1 Parámetros de diseño estructural e hidráulico de la cabina.

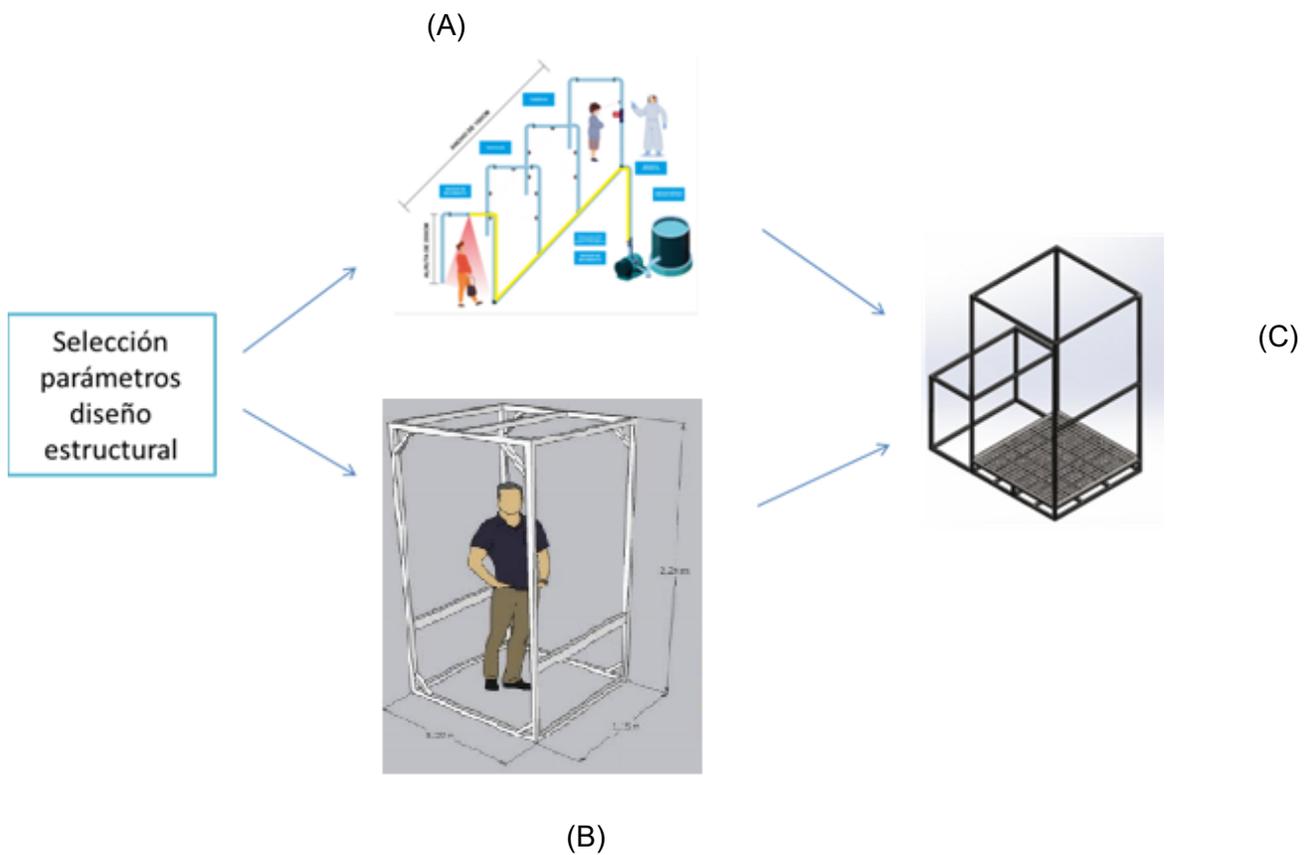
Como punto de partida para el desarrollo del proyecto se relaciona en la presente sección todos los parámetros involucrados para realizar el proceso de diseño estructural e hidráulico del prototipo, considerando la teoría ya existente en el ámbito de la ingeniería al involucrar los cálculos que permitirán dimensionar el compartimiento y seleccionar los elementos mecánicos que posibiliten un adecuado funcionamiento de la cabina de desinfección una vez que sea construida.

2.1.1 Parámetros Estructurales

Para la selección de los parámetros de diseño estructural, se tomó como punto de partida un estudio realizado por Guerrero (Guerrero K, 2020), (Indimex, 2020), (Ayala & Zapata, 2016), en el cual la investigación se centró en un diseño de cabina de desinfección para personas, desde un punto de vista práctico y sencillo, encontrando similitudes en el proceso de desinfección a pesar de que es un trabajo para diseñar una cabina que se implementó en el sector de la salud, agrícola, entre otros. Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó el respectivo diseño del presente proyecto. Finalmente se optó por el diseño final que se puede visualizar en la **Figura 2-2** la cual explica las referencias que se tuvieron en cuenta, para seleccionar el modelo a implementar, en la imagen superior **(A)** se tuvo en cuenta un repositorio de una de cabina de desinfección (Guerrero K, 2020) donde se adoptó como referencia la implementación de la automatización en el sistema de aspersión mediante sensor de movimiento, también la utilización de un sistema computarizado como lo es la Raspberry que funciona como sistema de control para la activación del sistema y control de presión en el sistema, por otro lado la utilización del sistema hidráulico realizado con tuberías de PVC, ; por otro lado en la imagen inferior **Figura 2-2 (B)** del diagrama se muestra un informe (Indimex, 2020) del cual se seleccionó el uso del material que junto con otro tipo de materiales será analizados desde la parte ingenieril bajo parámetros específicos para decidir cuál será la mejor opción, también se tuvo en cuenta las medidas

estructurales como son altura, ancho y largo de la cabina que luego serán estudiados con el fin de mostrar un diseño propio y para su posterior construcción. Todo esto se hizo con el fin de recopilar suficiente información para diseñar un modelo con un concepto propio **Figura 2-2 (C)**.

Figura 2-2. Explicación del diseño final de la cabina de desinfección.



Elaboración propia.

2.1.1.1 Dimensionamiento estructural

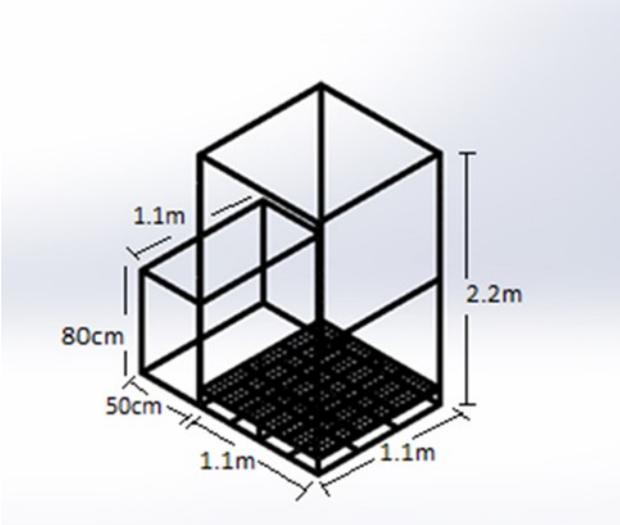
Para determinar la altura de la estructura de la cabina se tomó en cuenta como parámetro la altura establecida en el trabajo de investigación (Indimex, 2020) igualmente se ha corroborado con un estudio realizado por NCD Risk, que mediante un análisis científico determino que la altura promedio de los hombres en Colombia oscila entre los 1.86 m (NCD.RisC, 2019). No obstante, en el presente trabajo se realizó una modificación debido a que se evidenció un fallo en el diseño de la recolección del desinfectante una vez que es aplicado ya que no cuenta con un lugar de almacenamiento del líquido desinfectante utilizado, un hecho que hace que el líquido usado en la cabina se esparciera a alrededor de la estructura y por ende del lugar en el que se encontraba instalado. Ajustándose este valor a 2.2 m, teniendo en cuenta que se implementara un recolector de residuos ubicado en la parte inferior de la cabina el cual tiene una altura de 0.2 m, permitiendo así una fácil manipulación de la bandeja recolectora.

El ancho de la cabina se definió debido a que se requiere una desinfección rigurosa, el operario debe adoptar una posición optima, la cual debe ser estirando los brazos de manera diagonal con un ángulo aproximado de 120° aproximadamente tomando como regencia la base de la cabina, es decir, donde se encuentra ubicada la persona y girando 360° en su propio eje durante 10 seg, debido a esto se debe tener un ancho el cual permita que la persona gire, sin peligro de tropezar con sus pies permitiendo así que el operario pueda hacer este movimiento con seguridad.

Por otra parte, debido a que en el repositorio (Guerrero K, 2020) se evidencio el uso de una bomba hidráulica conectada a un tanque en el cual se deposita el líquido desinfectante pero no se especifica si existe o no un compartimento donde se alojen estos elementos. Teniendo en cuenta lo anterior se decidió que el diseño propio tendría un compartimento denominado reservorio donde se encontrara el tanque para que este estuviera aislado y protegerlo de cualquier contaminación, aquí también se ubicará la bomba hidráulica y los elementos electrónicos que accionaran el sistema de aspersion. Este reservorio estará ubicado en la zona izquierda de la estructura de la cabina, el cual tendrá unas dimensiones de 80 cm de alto y 50 cm de ancho, esto se determinó debido a las dimensiones del tanque que son 60 cm de alto y 37 cm de ancho, esto corresponde a la medida del tanque del desinfectante el cual es de 60 litros.

A continuación, se visualiza la **Tabla 2-1** donde se muestra el diseño propio de la cabina de desinfección y las dimensiones anteriormente mencionadas.

Tabla 2-1 Dimensiones del diseño propio de la estructura de la cabina.

Medidas de estructura cabina	Medidas estructura del Reservorio
Alto = 220 cm Ancho = 110 cm Largo = 110 cm	Alto = 80cm Ancho = 50cm Largo = 110 cm
	

Fuente: Elaboración propia, SolidWorks

2.1.1.2 Selección de material

Para la elección del material a utilizar en el prototipo de la estructura de la cabina de desinfección, se decidió analizar aspectos importantes para diseñar, como el esfuerzo de fluencia (ver **Tabla 2-2**) también se clasifico mediante el precio comercial (ver **Tabla 2-3**) de algunos materiales como el PVC, lamina de acero inoxidable y AISI 1020 Steel, Cold Rolled, debido a que estos materiales son los que más se utilizan en las diferentes referencias bibliográficas investigadas y repositorios (Guerrero K, 2020), (Indimex, 2020), (Ayala & Zapata, 2016), los cuales se tienen como una opción preliminar para continuar con el proceso de selección del material que más se adapte al proyecto.

Tabla 2-2 Esfuerzo de fluencia de la lámina en acero inoxidable, PVC y Tubería acero laminado en frio.

Material	Esfuerzo de fluencia (Psi)
Lámina en acero inoxidable Cal 18 (QUIRURGICA)	27000
Lamina de PVC	3110
AISI 1020 Steel, Cold Rolled de 1" Cal 18	30000

Fuente: Diseño ingeniería mecánica de Shigley (Budynas R)

Tabla 2-3 Precio de la lámina en acero inoxidable, PVC y Tubería acero laminado en frio.

Material	Precio
Lámina en acero inoxidable Cal 18 (QUIRURGICA)	530.000 COP Dimensiones de lamina 1.20 metros X 2.40 metros
Lamina PVC	79.000COP 3.8m ²

AISI 1020 Steel, Cold Rolled de 1" Cal 18	230.000COP Longitud tubería 1 metro
--	---

Fuente: Hierros Neiva S.A.S (Hierros Neiva, 2021)

Cada material se calificó en tres parámetros los cuales fueron disponibilidad, costo, y límite de fluencia (ver **Tabla 2-3**). Cada uno de estos ítems se evaluó en una calificación del 1 al 5, siendo el menor número un puntaje desfavorable y el mayor número el puntaje más favorable.

Tabla 2-4 Evaluación de criterios para la selección del material

Criterio	Material		
	Lamina de acero inoxidable	PVC	AISI 1020 Steel, Cold Rolled
Disponibilidad	3	5	5
Costo	2	5	4
Límite de fluencia	5	1	4
Porcentaje de favorabilidad	66%	73%	86%
$\text{Porcentaje de favorabilidad} = \frac{\text{Suma de criterios de cada material} \times 100}{15 \text{ "suma de puntos maximo a alcanzar"}}$			

Fuente: Elaboración propia

Como se observó en la **Tabla 2-3** el material más favorable para la estructura de la cabina fue AISI 1020 Steel, Cold Rolled debido a que su favorabilidad fue de un 86% de los criterios que se consideraron relevantes. Teniendo en cuenta que este material cumple con un límite de fluencia junto con un costo/beneficio aceptable, al ser un material accesible y con propiedades mecánica adecuadas para el diseño y construcción de la cabina, por último, se tuvo en cuenta la disponibilidad del material debido a la situación que vive el mundo actualmente ya que los recursos escasean y encarecen.

2.1.1.3 Propiedades del Material

El material utilizado para el desarrollo de la cabina estructural es tubería cuadrada calibre 18 **AISI 1020 Steel, Cold Rolled** (Matmatch, 2021), designación establecida por la norma **AISI (American Iron and Steel Institute)**. Dentro las propiedades encontradas (ver **Figura 2-3**) está el módulo elástico el cual permite especificar el comportamiento del material cuando se aplica una fuerza, la deformación longitudinal y el coeficiente de Poisson para la deformación longitudinal y transversal (Collieu A.M, 1977).

Figura 2-3 Propiedades del material AISI 1020 Steel, Cold Rolled

Propiedades	
Nombre:	AISI 1020 Steel, Cold Rolled
Tipo de Modelo:	Linear Elastic Isotropic
Criterio de falla predeterminado:	Max von Mises Stress
Fuerza de producción:	$3.5e+08 \text{ N/m}^2$
Fuerza de Tensión:	$4.2e+08 \text{ N/m}^2$
Módulo Elástico:	$2.05e+11 \text{ N/m}^2$
El coeficiente de Poisson:	0.29
Densidad de la masa:	7870 kg/m^3
Módulo de corte:	$8e+10 \text{ N/m}^2$
Coefficiente de expansión térmica:	$1.17e-05 \text{ /Kelvin}$

Fuente: Elaboración Propia, SolidWorks

2.1.1.4 Análisis estático estructural

En esta sección se evidenciará el análisis estático de la estructura de la cabina de desinfección mediante el software CAD, SolidWorks y su herramienta de análisis de elementos finitos, el cual no solo mostrará el modelo en 3D, también ayudará a evidenciar el comportamiento desde el punto de vista de la mecánica de materiales de la estructura en condiciones reales de trabajo, en el cual se obtendrá resultados de deformaciones, desplazamientos, factor de seguridad y tensiones que se generan en la estructura al estar sometida a esfuerzos que se generan por cada persona que se ubica dentro de la cabina para el proceso de desinfección, siendo este caso el peso del operario junto con otras variables de peso que se consideran y se discuten en la sección 2.1.1.4.2.

2.1.1.4.1 Material de la estructura en CAD SolidWorks

Inicialmente se debe seleccionar el material a utilizar para la estructura en el software CAD, el cual ya se había estimado en la sección 2.1.1.2, correspondiendo al AISI 1020 Steel, Cold Rolled de 1" calibre 18. No obstante, se debió corroborar la existencia de este material dentro de la librería del programa, el cual arrojó las diferentes propiedades mecánicas que se pueden observar en la **Figura 2-3** y que se tendrán en cuenta en el momento de la simulación, ya que a través de él se comprobó si el material escogido cumple con las necesidades estructurales por las cuales fue seleccionado.

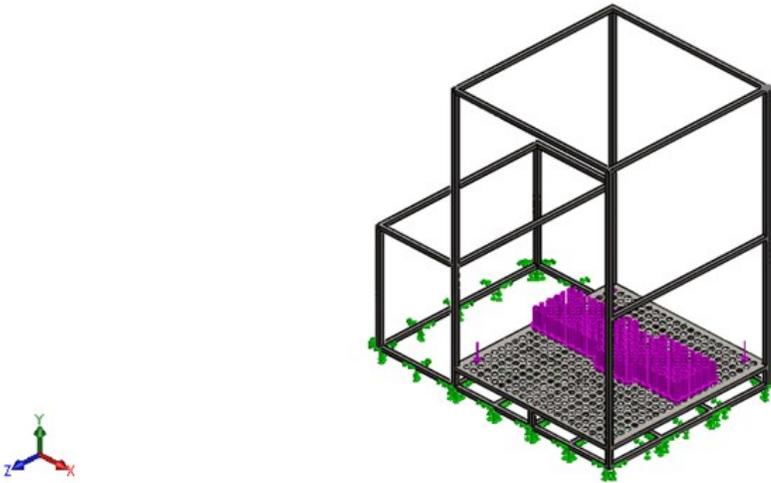
2.1.1.4.2 Condiciones de la estructura en CAD SolidWorks

En esta parte de la simulación en el software, se añaden condiciones como las sujeciones o restricciones (elementos de color verde), los cuales permiten definir la fijación de la estructura al suelo. Finalmente, se fija la dirección que debe tener la carga (elemento de color morado) siendo este caso, en dirección de la gravedad para así determinar la fuerza total que soportará la estructura de la cabina diseñada (ver **Figura 2-4**).

De acuerdo (Rios L, 2007) en su repositorio, el cual expone que al tener incertidumbres en la carga preliminar, se debe tener en cuenta todos los imprevistos, indicando que se

pueden incluir así hasta cargas inesperadas. Para esto se tuvo en cuenta que la estatura promedio en Colombia es de 1.86 m (NCD.RisC, 2019), esto quiere decir que la masa ideal de una persona con esta altura es de 80 Kg (Minsalud, 2021), debido a esto, se tuvo presente que con esta masa corporal hiciera uso de la cabina llevando consigo un bulto de comida de 40 Kg, y en algunas otras situaciones inesperadas como el mal uso de los operarios en el momento de utilizar la estructura, como por ejemplo usar la cabina con elementos para los cuales no fue diseñada, puede ser con caretilas u otros utensilios. Dado las situaciones anteriores se decidió que la carga a analizar será 200 Kg o 1961.33 N, ya que se consideró una carga aproximada relacionando las situaciones nombradas con el fin de preservar el buen funcionamiento y para evitar fallas prematuras ya sea desgaste o ruptura de la estructura. A continuación, se visualiza la **Figura 2-4**, la cual muestra las sujeciones, la carga aplicada la cual es 200 Kg.

Figura 2-4 Sujeciones y fuerza aplicada en la estructura de la cabina.



Elaboración propia, SolidWorks

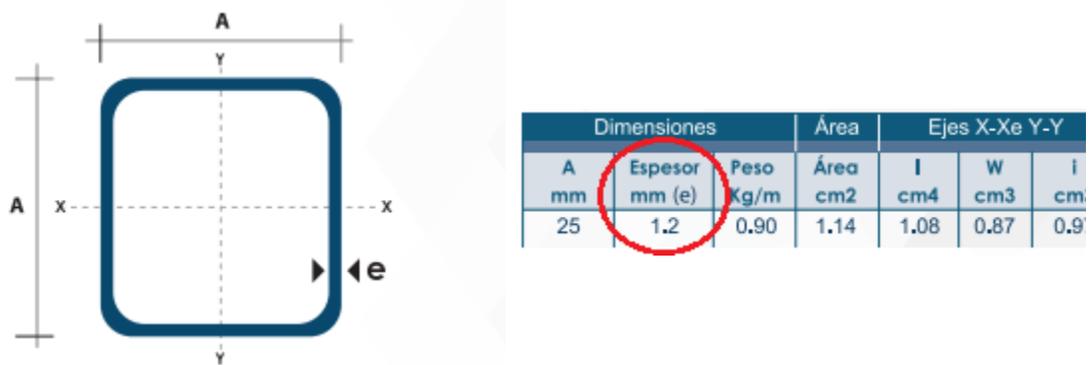
2.1.1.4.3 Proceso y generación de malla de la estructura en CAD SolidWorks.

Una vez establecidas las condiciones conocidas en los ítems anteriores, el paso siguiente es realizar el mallado para la simulación de la cabina, esto definirá la exactitud del análisis de la simulación, pues esto definirá el número de nodos que se estudiarán sobre el elemento, entre más nodos será más preciso el análisis de la simulación. Dado lo anterior

se puede definir que la malla en puntos más críticos genera una densidad mayor de nodos dependiendo de los esfuerzos a estudiar en la simulación.

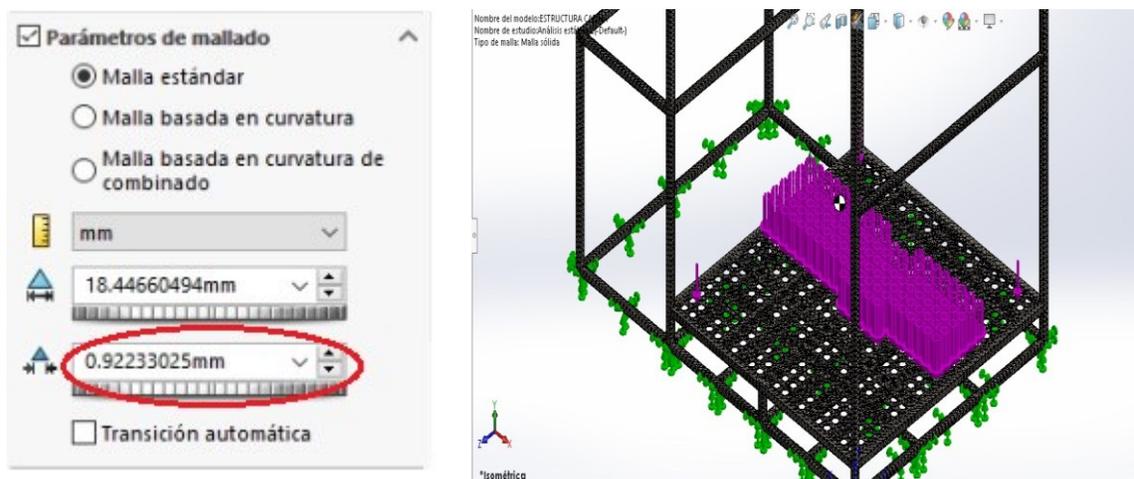
Para la generación de la malla se tuvo en cuenta el espesor de la tubería de 1.2 mm (ver **Figura 2-5**), dado esto, se determinó que el tamaño mínimo de la malla para concentrar la mayor cantidad de nodos alrededor de la tubería fue 0.92233025 mm (ver **Figura 2-6 (a)**), esto debido a que el espesor de la tubería es muy pequeño, entonces, se requiere una malla más precisa para abarcar y analizar toda la estructura de forma adecuada, visualizando el efecto de la carga establecida en los resultados de la simulación. Finalmente se muestra el enmallado realizado en la **Figura 2-6 (b)**.

Figura 2-5 Especificaciones de tubo estructural cuadrado.



Fuente: Tomado de (Dipac, 2021)

Figura 2-6 Parámetros y malla resultante.



(a) (b)
Elaboración propia, SolidWorks

2.1.1.4.4 Simulación del prototipo en SolidWorks

El último paso para seguir es simular el prototipo en su totalidad y observar el comportamiento de la estructura sometida a una carga de 200 Kg o 1961.33 N como se explicó en la sección 2.1.1.4.2. Los resultados de la simulación ayudaran a identificar zonas críticas o zonas seguras representándolas en una escala de colores, siendo los de color cálido los que representan las zonas críticas de mayor tensión, deformación y desplazamiento, ya en modo inverso, la escala de colores fríos representara menores esfuerzos, un proceso que se detalla en las siguientes secciones.

2.1.1.4.4.1 Desplazamientos

En la simulación del software CAD SolidWorks se permite analizar el comportamiento de la estructura debido a los esfuerzos a los que está sometida y que son generados por la carga aplicada. De este modo, al trabajar con un material dúctil se puede determinar los desplazamientos, esto se debe al movimiento generado en la estructura desde un punto inicial a un punto final, representándose en una distancia. En la **Figura 2-7 (a)** se puede observar el desplazamiento generado en la simulación, siendo evidente una concavidad hacia arriba debido a la flexión, una curvatura que en el proceso real sería la posición en la que se ubica el operario. El software representa de forma exagerada un pandeo, arrojando como resultado un desplazamiento máximo con una distancia de 0.62 mm identificada con el color rojo (ver **Figura 2-7(b)**).

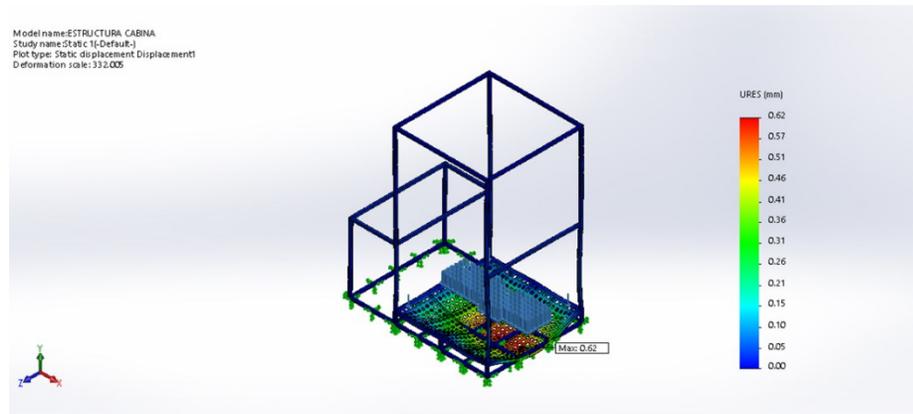
2.1.1.4.4.2 Tensión Von-Mises

En análisis de las tensiones de Von-Mises (ver **Figura 2-8(a)**) se hace con el fin de conocer el resultado de los esfuerzos aplicados debido a una carga a la que está sometida la estructura. El resultado de la simulación en SolidWorks nos permite resaltar la ubicación y la proporción de este esfuerzo.

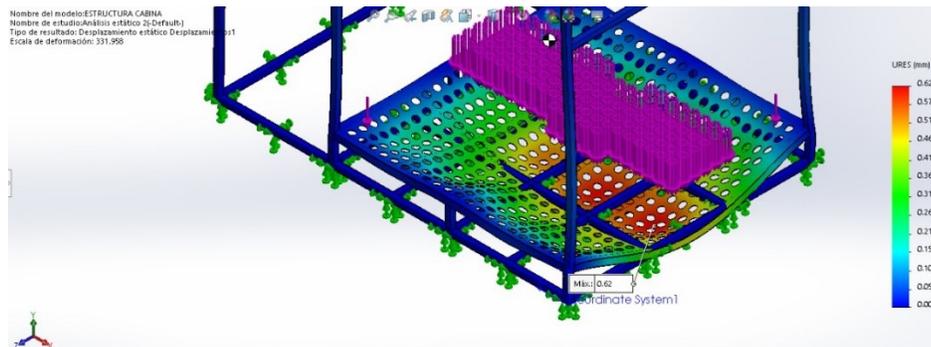
En la simulación realizada, se determinó que la magnitud del esfuerzo máximo es de 6514.52 Psi, ubicándose en las cuatro columnas verticales, por ende, esta es la sección

más crítica debido a que la tubería se une a la plataforma en sus cuatro esquinas teniendo efectos de cargas combinadas (ver **Figura 2-8(b)**).

Figura 2-7 Desplazamiento de la estructura.



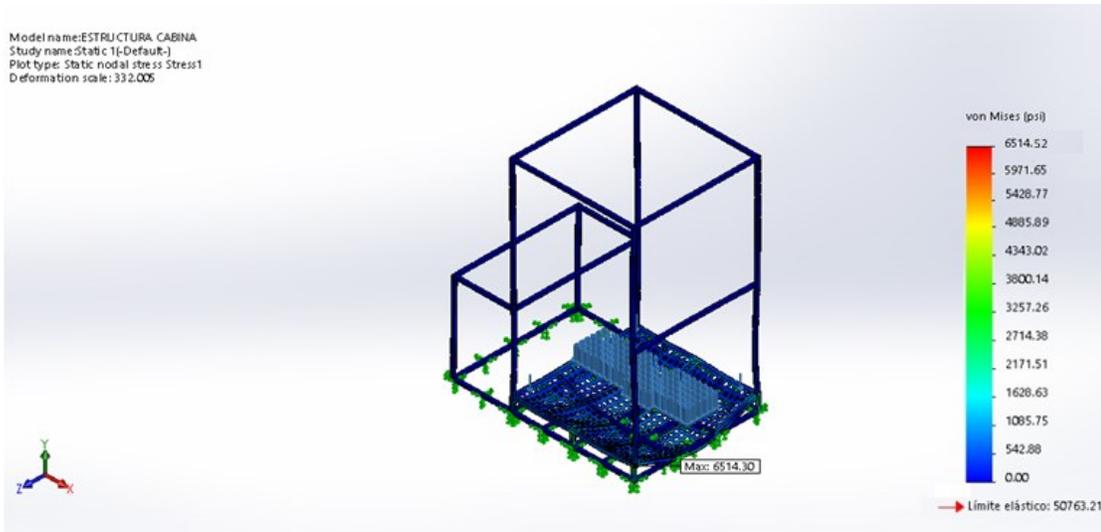
(a)



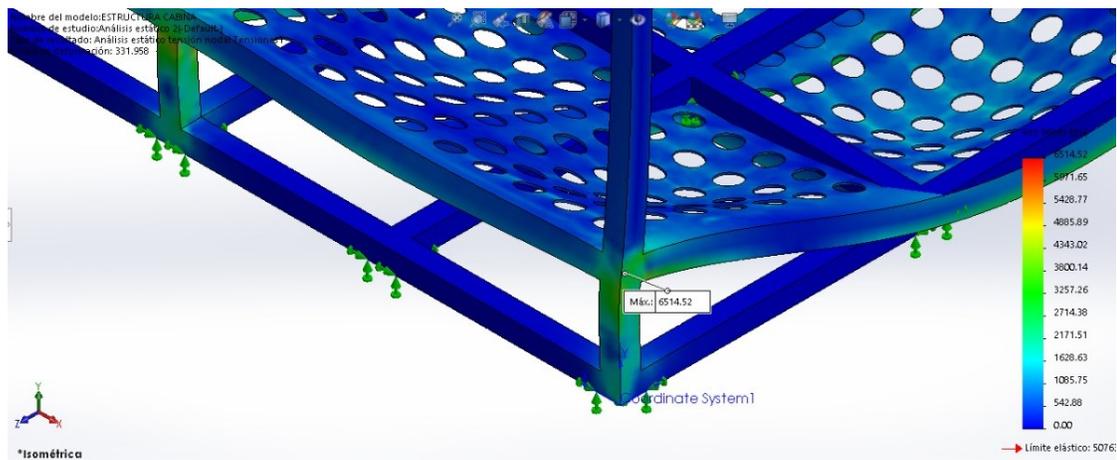
(b)

Elaboración propia, SolidWorks

Figura 2-8 Tensiones de Von-Mises en la estructura.



(a)

Figura 2-8 Tensiones de Von-Mises en la estructura.

(b)

Elaboración propia, SolidWorks

2.1.1.4.5 Factor de seguridad de la estructura

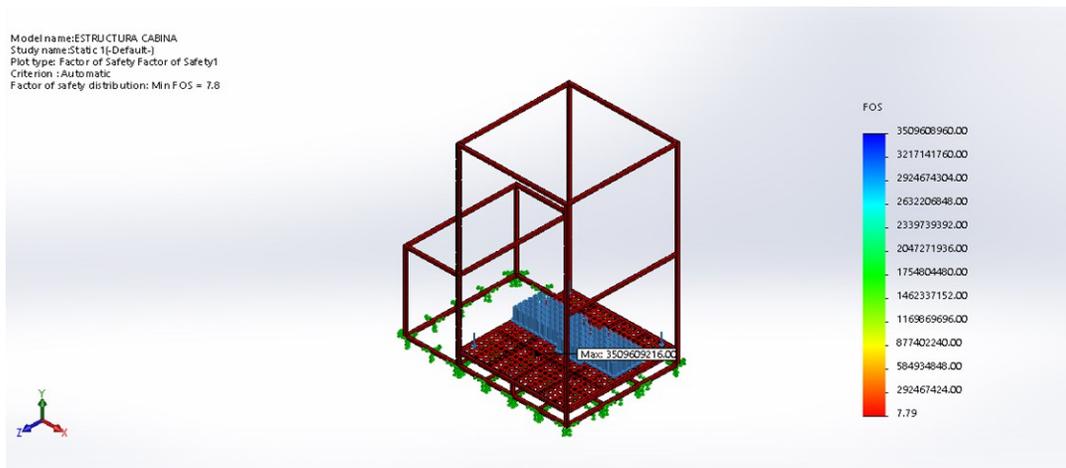
El factor de seguridad (FOS) en el diseño de la estructura resulta importante, ya que una falla o un error en el elemento pueden acarrear pérdidas económicas o incluso graves afectaciones humanas. Recordando la definición de este concepto, es la capacidad de un elemento para soportar cargas y así prevenir su fallo ante grandes esfuerzos, a su vez ayuda a determinar si el material utilizado es adecuado para la construcción del proyecto.

Según (Hibbeler R.C, 2006) el factor de seguridad menor a 1 significa que es un diseño inviable y posiblemente presentara fallas ante cualquier mínimo esfuerzo, dado el caso de

que el factor de seguridad sea igual o mayor que indica que el elemento, estructura o componente, fallara cuando supere su esfuerzo típico para la cual fue diseñada. Cabe aclarar que cuando se trabaja en condiciones difíciles como factores de corrosión, humedad, etc., es factible considerar un FOS no menor a 4.

Teniendo en cuenta lo anterior, el resultado de la simulación en SolidWorks, indica que la estructura de la cabina diseñada cumple a cabalidad con los requerimientos mencionados hasta ahora, un prototipo que será usado por personas y se encontrará en condiciones de alta humedad debido a la exposición constante del desinfectante generando un riesgo elevado de corrosión. El factor demostrado por el software tuvo como resultado, $FOS = 7$, valor del cual se puede concluir que el prototipo presentado es tres veces mayor de lo recomendado por Hibbeler (ver **Figura 2-9**).

Figura 2-9 Factor de seguridad de la estructura



Elaboración propia, SolidWorks

2.1.2 Parámetros hidráulicos

Para el diseño del sistema hidráulico se determinaron los siguientes parámetros:

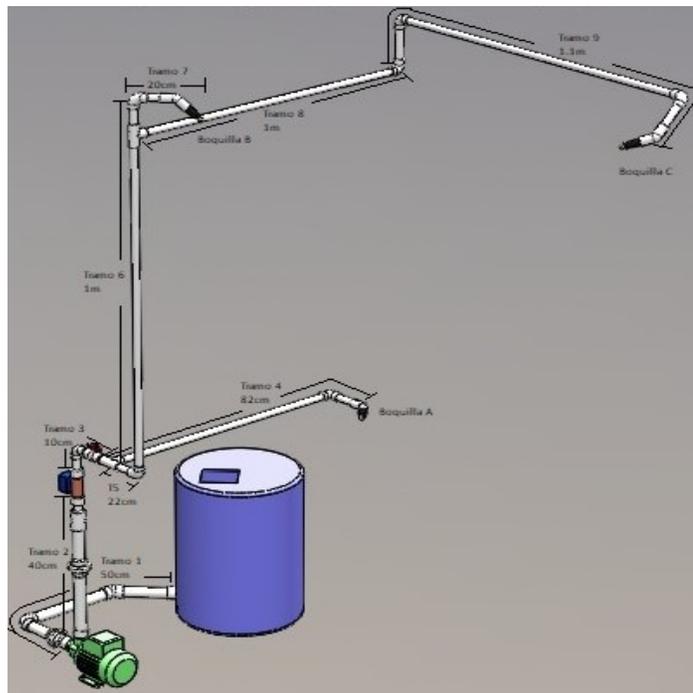
- Bomba de 0.5 hp marca Pedrollo (Pedrollo, 2020), debido a que la capacidad de la bomba para una elevación máxima de 5 m tendrá una capacidad de bombeo de

$40 \frac{l}{min}$, teniendo en cuenta que se consideró que la boquilla más alta de la cabina diseñada se encontrará a una altura de 1.8m.

- Tubería PVC RDE 13.5 de en el tramo de la succión (antes de la bomba hidráulica) se usó una tubería de 1" con un diámetro interno de 28.48 mm, y para el resto de los tramos (zona de descarga, luego de la bomba hidráulica) se utilizó una tubería de $\frac{1}{2}$ " con un diámetro interno de 18.18 mm y (PAVCO, 2020).
- Boquillas TEEJET referencia 110-02, el cual tienen un ángulo de pulverización del abanico de 110° . La cobertura de estas boquillas situadas a 90cm de altura tiene una capacidad de 257cm de diámetro del abanico de aspersión (TeeJet, 2021). Debido a la capacidad de aspersión de estas boquillas, se decidió hacer el uso de tres, ya que cuentan con un gran ángulo de aspersión y su alcance de cobertura ya que por lo anterior mencionado contribuyen para un buen proceso de aspersión.

Debido al diseño estructural del prototipo de la cabina que se estableció en la sección 2.1.1.1, se optó que el diseño para el sistema hidráulico con sus respectivas medidas, tramos, y boquillas serían los que se establecen en la Figura 2-10.

Figura 2-10 Diseño del sistema hidráulico.



Elaboración propia

Para el análisis hidráulico se realiza una explicación detallada de la longitud de tubería para cada tramo (ver **Tabla 2-4**), de este modo se podrá determinar el caudal en cada sección de la tubería referenciada.

Tabla 2-5 Longitud de tubería para cada tramo del sistema hidráulico.

Tramo	Longitud de tubería
Tramo 1	50 cm
Tramo 2	40 cm
Tramo 3	10 cm
Tramo 4	82 cm
Tramo 5	22 cm
Tramo 6	1 m
Tramo 7	20 cm
Tramo 8	1 m
Tramo 9	1.10 m

Elaboración propia.

Para poder iniciar a calcular, se debe tener en cuenta la capacidad máxima del bombeo de la bomba hidráulica que se tomó como referencia, esta capacidad de bombeo es de $40 \frac{l}{min}$ y se hará la conversión a $\frac{m^3}{seg}$, debido a que todos los parámetros se han utilizado el sistema internacional de medidas (SI):

$$Q_{bomba} = 40 \frac{l}{min}$$

$$Q_{bomba} = 40 \frac{l}{min} \times \frac{1m^3}{1000 l} \times \frac{1min}{60seg}$$

$$Q_{bomba} = 0.00066 \frac{m^3}{seg}$$

Dónde:

$Q_{bomba} = \text{Caudal máximo de bombeo de la bomba hidráulica}$

Dado que se seleccionó tres boquillas que se encuentran ubicadas en tres ramificaciones diferentes, el caudal total debe ser igual a la sumatoria de los caudales que se distribuyen en las tres boquillas, por lo tanto se infiere la siguiente ecuación:

$$Q_{Tbomba} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (2)$$

$$Q_{Tbomba} = 0.00066 \frac{m^3}{seg}$$

Dónde:

$Q_1 = \text{Caudal en la boquilla A}$

$Q_2 = \text{Caudal en la boquilla B}$

$Q_3 = \text{Caudal en la boquilla C}$

Como segunda instancia se plantea la ecuación de continuidad, para determinar el caudal en cada tramo, teniendo en cuenta que cambia la velocidad y el área, debido al cambio de tubería de 1" a 1/2" como se determinó anteriormente, por lo tanto se determinó que el caudal en las tres boquillas es de $0.00022 \frac{m^3}{seg}$ con respecto al bombeo máximo de la bomba hidráulica y también considerando la capacidad de cada boquilla como se muestra en la **Figura 2-11**, como punto de partida para posteriormente analizar las pérdidas por fricción debido a la tubería y accesorios

Figura 2-11 Capacidad de litros por minuto para cada boquilla.

	bar	TAMA- NO DE GOTA	CAPACIDAD DE UNA BOQUILLA EN l/min	l/ha 												
				4 km/h	5 km/h	6 km/h	7 km/h	8 km/h	10 km/h	12 km/h	16 km/h	18 km/h	20 km/h	25 km/h	30 km/h	35 km/h
TT11002 (50)	1,0	VC	0,46	138	110	92,0	78,9	69,0	55,2	46,0	34,5	30,7	27,6	22,1	18,4	15,8
	2,0	C	0,65	195	156	130	111	97,5	78,0	65,0	48,8	43,3	39,0	31,2	26,0	22,3
	3,0	M	0,79	237	190	158	135	119	94,8	79,0	59,3	52,7	47,4	37,9	31,6	27,1
	4,0	M	0,91	273	218	182	156	137	109	91,0	68,3	60,7	54,6	43,7	36,4	31,2
	5,0	F	1,02	306	245	204	175	153	122	102	76,5	68,0	61,2	49,0	40,8	35,0
	6,0	F	1,12	336	269	224	192	168	134	112	84,0	74,7	67,2	53,8	44,8	38,4

Fuente: Tomando de (TeeJet, 2021)

Por lo anterior se expresa la ecuación de la continuidad:

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$$

Dónde:

A_1 = Area de entrada

V_1 = Velocidad de entrada

A_2 = Area de salida

V_2 = Velocidad de salida

Entonces, dado lo anterior (ver **Tabla 2-4**) son 9 tramos en los que circula el líquido se analizara en flujo másico presente en los tramos, es decir:

- $Q_1 = Q_2 = 0.00066 \frac{m^3}{seg}$
- $Q_2 = Q_3 = 0.00066 \frac{m^3}{seg}$
- $Q_3 = Q_4 + Q_5 = 0.00022 \frac{m^3}{seg} + 0.00044 \frac{m^3}{seg}$
- $Q_5 = Q_6 = 0.00044 \frac{m^3}{seg}$
- $Q_6 = Q_7 + Q_8 = 0.00022 \frac{m^3}{seg} + 0.00022 \frac{m^3}{seg}$

- $Q_8 = Q_9 = 0.00022 \frac{m^3}{seg}$

Siguiendo con la ecuación de continuidad, se hallará la velocidad en cada tramo, esto se hace con el fin de demostrar los cambios de velocidad dependiendo del cambio del diámetro interno de la tubería como se explicó anteriormente en la elección de parámetros:

Formula de continuidad:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (2)$$

Dónde:

V= Velocidad en el tramo $\frac{m}{seg}$

Q = Caudal en el tramo $\frac{m^3}{seg}$

A = Área en el tramo $\frac{\pi \cdot (\text{diámetro})^2}{4}$

En la **Tabla 2-6** se explica las velocidades de cada tramo del sistema hidráulico, utilizando la formula general de continuidad de Bernoulli.

Tabla 2-6 Velocidades de cada tramo del sistema hidráulico.

Ubicación de la velocidad del tramo	Diámetro interno de la tubería del tramo.	Formula de la continuidad de Bernoulli para cada tramo.
Velocidad en el tramo 1, que corresponde desde el tanque hasta la zona de succión (ver Figura 2-10).	1" = 28.48 mm o 0.02848 m	$V_1 = \frac{0.000664 \frac{m^3}{seg}}{\frac{\pi \cdot (0.02840 m)^2}{4}}$ $V_1 = 1.04 \frac{m}{seg}$

<p>Velocidad tramo 2, desde la zona de descarga hasta la electroválvula (ver Figura 2-10).</p>	<p>1" = 28.48 mm o 0.02848 m</p>	$V_2 = \frac{0.000664 \frac{m^3}{seg}}{\pi \cdot (0.02840 m)^2 \cdot 4}$ $V_2 = 1.04 \frac{m}{seg}$
<p>Velocidad tramo 3, desde la electroválvula hasta la ramificación del sistema, aquí es donde cambia el diámetro para el resto de la tubería (ver Figura 2-10).</p>	<p>½" = 18.18 mm o 0.01818 m</p>	$V_3 = \frac{0.000664 \frac{m^3}{seg}}{\pi \cdot (0.01818 m)^2 \cdot 4}$ $V_3 = 2.55 \frac{m}{seg}$ <p>Se aumenta la velocidad debido al cambio de diámetro de tubería.</p>
<p>Velocidad tramo 4, desde el inicio de la ramificación del sistema de la tubería hasta la boquilla A (ver Figura 2-10).</p>	<p>½" = 18.18 mm o 0.01818 m</p>	$V_4 = \frac{0.00022 \frac{m^3}{seg}}{\pi \cdot (0.01818 m)^2 \cdot 4}$ $V_4 = 0.83 \frac{m}{seg}$ <p>Disminuye la velocidad debido a que el caudal se divide en los demás tramos del sistema.</p>
<p>Velocidad tramo 5, desde el inicio de la ramificación del sistema de la tubería hasta la boquilla B (ver Figura 2-10).</p>	<p>½" = 18.18 mm o 0.01818 m</p>	$V_5 = \frac{0.00044 \frac{m^3}{seg}}{\pi \cdot (0.01818 m)^2 \cdot 4}$ $V_5 = 1.69 \frac{m}{seg}$ <p>Se tiene este caudal debido a que este surtirá los dos tramos faltantes del sistema. Por esta</p>

		razón su velocidad aumenta respecto a V_4 .
Velocidad en los tramos 6, 7, 8 y 9, estos tramos corresponden a las ramificaciones de la tubería que se dirigen al caudal saliente de las boquillas B y C (ver Figura 2-10).	$\frac{1}{2}'' = 18.18 \text{ mm}$ o 0.01818 m	Esto se hace con el fin demostrar la ecuación de continuidad de Bernoulli, dado que $A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$, ya que tiene la misma área que es el diámetro interno de la tubería y el mismo caudal que los demás tramos. Entonces, $V_4 = V_6 = V_7 = V_8 = V_9$ $= 0.84 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$ Debido a que el caudal es el mismo que deben salir por las boquillas B y C.

Elaboración propia.

Ahora, se hallan las pérdidas de carga para cada tramo. Las pérdidas por fricción se expresan en metros (m), debido que es la columna de líquido que debe vencer la potencia de la bomba. Estas pérdidas se determinan de dos maneras:

1. Pérdidas primarias: Tipo de material de la tubería. Cabe aclarar que para hallar estas pérdidas, se debe hallar el coeficiente de fricción f para la tubería, por medio del número de Reynolds.

Ecuación de Darcy-Weisbach

$$HL_{f1} = f \times \frac{L \times V^2}{d \times 2g} \quad (3)$$

Dónde:

$HL_{f1} = \text{Pérdidas primarias}$

$f = \text{factor de fricción}$

$L = \text{Longitud de la tubería (ver Tabla 2 - 4)}$

$$V = \text{Velocidadn el tramo } \frac{m}{seg}$$

$$d = \text{Diámetro de la tubería [m]}$$

$$g = \text{gravedad } \frac{m}{seg^2}$$

Ecuación de número de Reynolds, se determinó con el fin de demostrar que tipo de fluido se encuentra circulando en la tubería, ya sea turbulento o laminar (Mott L.R, 2006), como se observa en la ecuación (2).

(4)

$$Re = \frac{V \times d}{\gamma}$$

Dónde:

V = Velocidad

d = Diámetro interno de la tubería.

Y = Viscosidad cinemática del fluido

Cabe aclarar que para la desinfección se escogió Maxo Nomic 60 porque contiene ingredientes de potente acción contra virus, bacterias, hongos y diferentes microorganismos, siendo este producto creado para el uso en áreas de preparación de alimentos, industrias, entre otras. En comparación con uno de los desinfectantes mayormente utilizados como lo es el amonio cuaternario, el ministerio de salud anuncia y recomienda el no uso de este líquido, puesto que en un constante uso o en malas prácticas pueden generar irritaciones en la piel, en los ojos y al ser inhalado permite el ingreso de agentes patógenos al organismo (Minsalud, 2020). Debido a que el fabricante del producto utilizado para la desinfección aconseja diluir una parte del producto en 10 partes de agua (Maxo Nomic60, 2020). Se concluyó que para los cálculos matemáticos, el mayor componente de la mezcla es agua por lo tanto, se tomara en cuenta las características del agua.

2. Pérdidas secundarias: Accesorios (electroválvula, codos, uniones, reducción, válvula de bola, etc.), donde k será un número adimensional ya seleccionados por el catálogo del material (ver **Figura 2-12**).

$$HL_{S1} = k \times \frac{V^2}{2g} \quad (5)$$

Dónde:

HL_{S1} = Pérdidas secundarias por accesorios [m]

k = Coeficientes para pérdidas en accesorios y codos

V = Velocidad en el tramo $\frac{m}{seg}$

g = gravedad $\frac{m}{seg^2}$

Antes de realizar los cálculos de pérdidas por accesorios se debe verificar el coeficiente de pérdida de cada accesorio utilizado (ver **Figura 2-11**).

Figura 2-11 Coeficiente de pérdidas por accesorios.

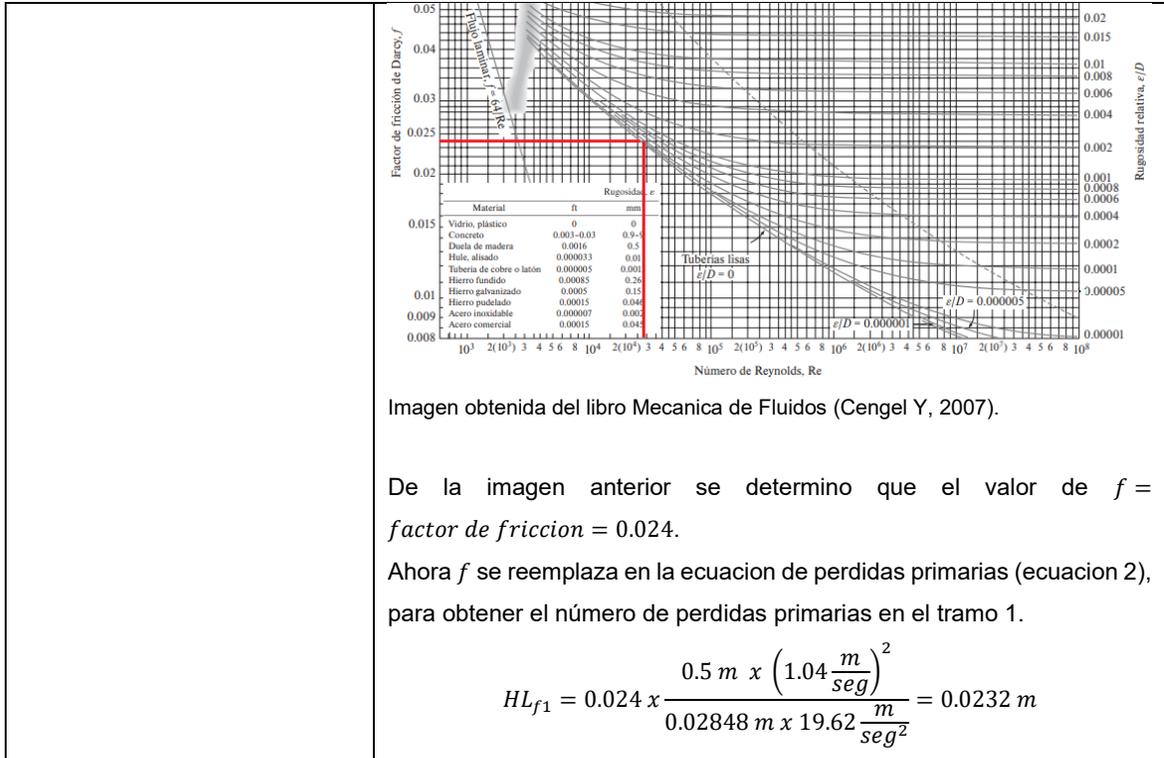
Pieza, conexión o dispositivo	K_c
Rejilla de entrada	0.80
Válvula de pie	3.00
Entrada cuadrada	0.50
Entrada abocinada	0.10
Entrada de borda o reentrada	1.00
Ampliación gradual	0.30
Ampliación brusca	0.20
Reducción gradual	0.25
Reducción brusca	0.35
Codo corto de 90°	0.90
Codo corto de 45°	0.40
Codo largo de 90°	0.40
Codo largo de 45°	0.20
Codo largo de 22° 30'	0.10
Tee con flujo en línea recta	0.10
Tee con flujo en ángulo	1.50
Tee con salida bilateral	1.80
Válvula de compuerta abierta	5.00
Válvula de ángulo abierta	5.00
Válvula de globo abierta	10.0
Válvula alfallera	2.00
Válvula de retención	2.50
Boquillas	2.75
Controlador de gasto	2.50
Medidor Venturi	2.50
Confluencia	0.40
Bifurcación	0.10
Pequeña derivación	0.03
Válvula de mariposa abierta	0.24

Fuente: Tomado de (Conagua, 2002)

Teniendo en cuenta lo anterior, se hallan las pérdidas por accesorios sumando el (k) de cada elemento para así tener un total de pérdidas secundarias en cada tramo. Para hallar las pérdidas primarias se debe tener en cuenta el coeficiente de fricción por medio del número de Reynolds (ver **Tabla 2-7**).

Tabla 2-7 Demostración pasó a paso de pérdidas por fricción en el tramo 1.

Pérdida secundaria	Pérdida primaria										
<p>Pérdidas secundarias en el tramo 1.</p> <table border="1" data-bbox="285 491 621 827"> <thead> <tr> <th>Accesorio</th> <th>Coefficiente de pérdida (k)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Codo de 45°</td> <td>0.37</td> </tr> <tr> <td>Codo de 90°</td> <td>0.69</td> </tr> <tr> <td>Unión roscada</td> <td>0.08</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>1.14</td> </tr> </tbody> </table> <p>Se reemplazó los coeficientes de pérdida en la ecuación de pérdidas secundarias (ver ecuación 3), para hallar las pérdidas por accesorios del tramo 1.</p> $HL_{S1} = k_1 \times \frac{(V_1)^2}{2g}$ $HL_{S1} = 1.14 \times \frac{\left(1.04 \frac{m}{seg}\right)^2}{2 \left(9.8 \frac{m}{seg^2}\right)}$ $= 0.062 m$	Accesorio	Coefficiente de pérdida (k)	Codo de 45°	0.37	Codo de 90°	0.69	Unión roscada	0.08	Total	1.14	<p>Pérdidas primarias en el tramo 1.</p> <p>Numero de Reynolds:</p> $Re = \frac{V * d}{\gamma}$ $Re = \frac{\left(1.04 \frac{m}{seg}\right) (0.02848m)}{1.007 \times 10^{-6} \frac{m^2}{seg}}$ <p>Debido a que el mayor componente de la mezcla es agua como se explica en el apartado de pérdidas primarias, se escogió la viscosidad cinemática del agua a temperatura ambiente es decir a 20°C, por lo tanto, es $1.007 \times 10^{-6} \frac{m^2}{seg}$.</p> $Re = 29413$ <p>Cuando $Re > 4000$ el flujo es turbulento.</p> <p>Luego, se halla la rugosidad relativa (k) del PVC, conociendo que la rugosidad absoluta (ϵ) del PVC es $0.0000015 m$ (Soriano A, 2012), siendo este el promedio de las irregularidades o imperfecciones internas del material con el que se puede determinar una variación en el diámetro interno de la tubería.</p> $k = \frac{\epsilon}{diámetro}$ $k = \frac{0.0000015 m}{0.02848 m} = 0.00005266$ <p>Ya que se obtuvo un flujo turbulento haremos uso del diagrama de Moody para así hallar el factor de fricción aproximado. En la parte derecha de la imagen tenemos la rugosidad relativa y en la parte inferior de la tabla se visualiza el número de Reynolds fraccionada en múltiplos de 1000, para hallar el factor de fricción aproximado se halla el punto medio entre estos dos parámetros (Cengel Y, 2007).</p>
Accesorio	Coefficiente de pérdida (k)										
Codo de 45°	0.37										
Codo de 90°	0.69										
Unión roscada	0.08										
Total	1.14										



Elaboración propia.

Para el tramo 2, se realiza el mismo proceso realizado para el tramo 1 en la **Tabla 2-6**. Debido a lo anteriormente explicado, este es un paso iterativo por lo cual para cada tramo siguiente se hará la demostración de forma simplificada (ver **Tabla 2-8**).

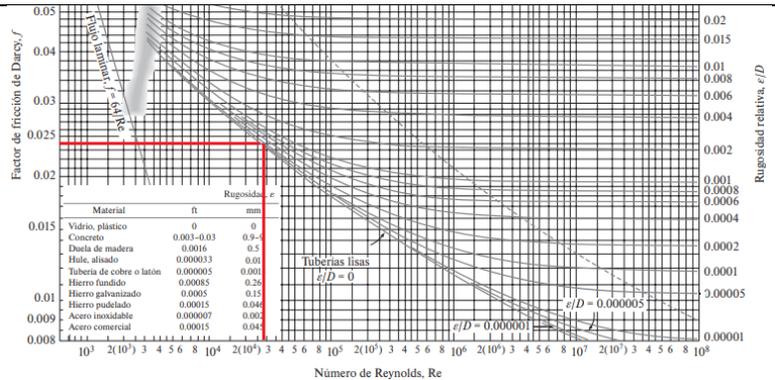
Tabla 2-8 Demostración pasó a paso de pérdidas por fricción en el tramo 2.

Perdida secundaria	Perdida primaria												
Pérdidas secundarias en el tramo 2.	Perdidas primarias en el tramo 2.												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Accesorios</th> <th>Coefficiente de perdida (k)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Codo de 90°</td> <td>0.69</td> </tr> <tr> <td>Unión roscada</td> <td>0.08</td> </tr> <tr> <td>Válvula de bola</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>Reducción de diámetro</td> <td>0.35</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>1.17</td> </tr> </tbody> </table>	Accesorios	Coefficiente de perdida (k)	Codo de 90°	0.69	Unión roscada	0.08	Válvula de bola	0.5	Reducción de diámetro	0.35	Total	1.17	Numero de Reynolds: $Re = \frac{V * d}{\gamma}$ $Re = \frac{\left(1.04 \frac{\text{m}}{\text{seg}}\right) (0.02848\text{m})}{1.007 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{seg}}}$ $Re = 29413$ <p>Cuando $Re > 4000$ el flujo es turbulento.</p> <p>Se halla la rugosidad relativa (k) del PVC.</p> $k = \frac{\epsilon}{\text{diametro}}$ $k = \frac{0.000015 \text{ m}}{0.02848 \text{ m}} = 0.00005266$ <p>Se hallar el factor de fricción aproximado</p>
Accesorios	Coefficiente de perdida (k)												
Codo de 90°	0.69												
Unión roscada	0.08												
Válvula de bola	0.5												
Reducción de diámetro	0.35												
Total	1.17												

Perdidas por accesorios del tramo 2.

$$HL_{S2} = k_2 \times \frac{(V_2)^2}{2g}$$

$$HL_{S2} = 1.17 \times \frac{\left(1.04 \frac{m}{seg}\right)^2}{2 \left(9.8 \frac{m}{seg^2}\right)} = 0.064 m$$



De la imagen anterior se determino que el valor de $f =$ factor de fricción = 0.024.

Ahora f se reemplaza en la ecuacion de perdidas primarias (ecuacion 2), para obtener el número de perdidas primarias en el tramo 1.

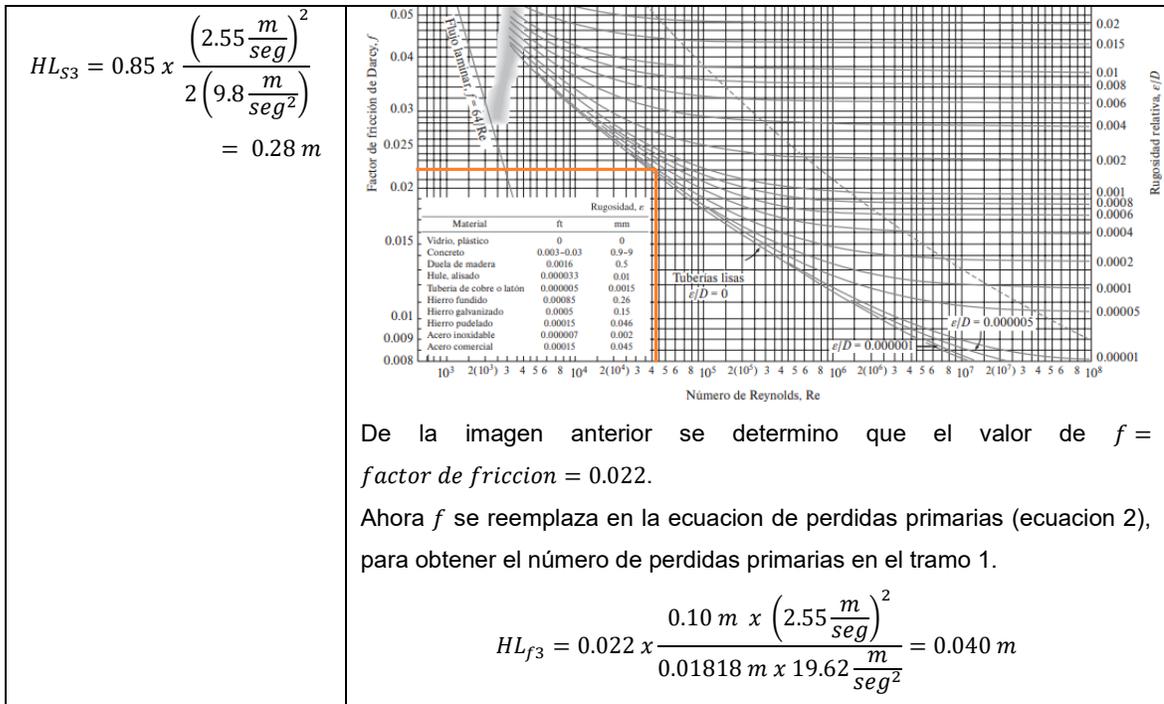
$$HL_{f2} = 0.024 \times \frac{0.4 m \times \left(1.04 \frac{m}{seg}\right)^2}{0.02848 m \times 19.62 \frac{m}{seg^2}} = 0.017 m$$

Elaboración propia

Para el tramo 3

Tabla 2-9 Demostración pasó a paso de pérdidas por fricción en el tramo 3.

Perdida secundaria	Perdida primaria								
<p>Pérdidas secundarias en el tramo 3.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Accesorios</th> <th>Coefficiente de pérdida (k)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tee de 90°</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>Válvula de bola</td> <td>0.05</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>0.85</td> </tr> </tbody> </table> <p>Perdidas por accesorios del tramo 3.</p> $HL_{S3} = k_3 \times \frac{(V_3)^2}{2g}$	Accesorios	Coefficiente de pérdida (k)	Tee de 90°	0.8	Válvula de bola	0.05	Total	0.85	<p>Perdidas primarias en el tramo 3.</p> <p>Numero de Reynolds:</p> $Re = \frac{V * d}{\gamma}$ $Re = \frac{\left(2.55 \frac{m}{seg}\right) (0.01818 m)}{1.007 \times 10^{-6} \frac{m^2}{seg}}$ $Re = 46036.7$ <p>Cuando $Re > 4000$ el flujo es turbulento.</p> <p>Se halla la rugosidad relativa (k) del PVC.</p> $k = \frac{\epsilon}{diámetro}$ $k = \frac{0.000015 m}{0.01818 m} = 0.000082$ <p>Se hallar el factor de fricción aproximado</p>
Accesorios	Coefficiente de pérdida (k)								
Tee de 90°	0.8								
Válvula de bola	0.05								
Total	0.85								

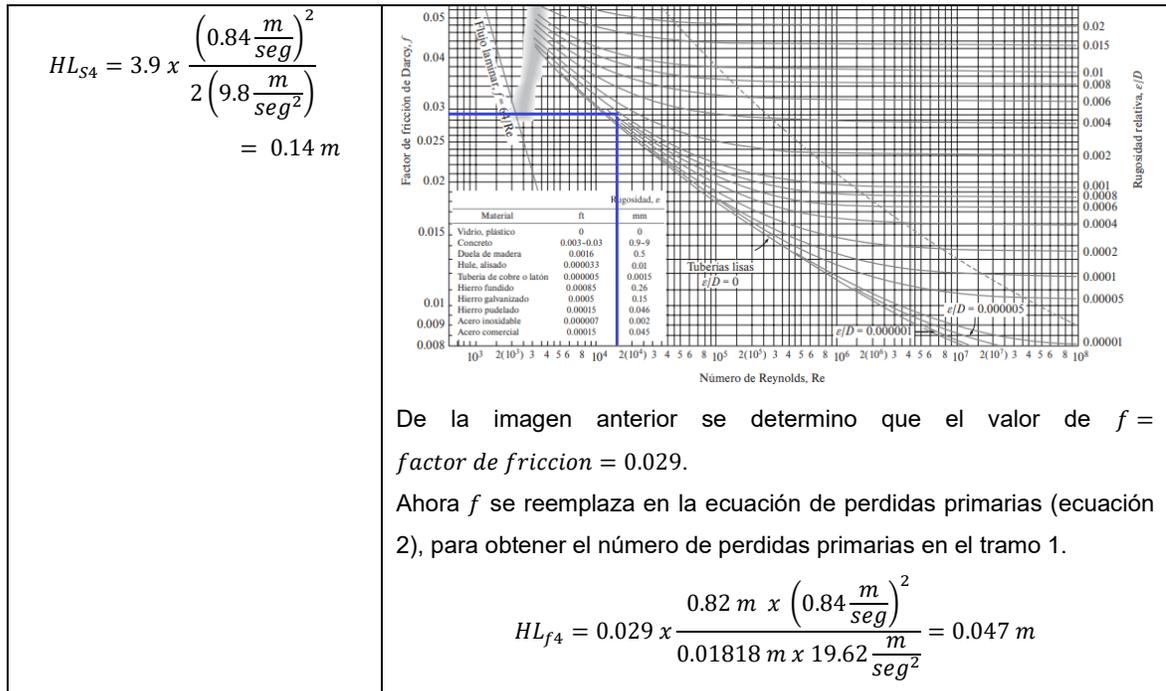


Elaboración propia.

Para el tramo 4

Tabla 2-10 Demostración pasó a paso de pérdidas por fricción en el tramo 4.

Perdida secundaria	Perdida primaria										
Pérdidas secundarias en el tramo 4. <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>Accesorios</th> <th>Coefficiente de perdida (k)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Codo de 90°</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>Codo de 45°</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>Boquilla</td> <td>2.8</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>3.9</td> </tr> </tbody> </table>	Accesorios	Coefficiente de perdida (k)	Codo de 90°	0.7	Codo de 45°	0.4	Boquilla	2.8	Total	3.9	Perdidas primarias en el tramo 4. Numero de Reynolds: $Re = \frac{V * d}{\gamma}$ $Re = \frac{\left(0.84 \frac{m}{seg}\right) (0.01818 m)}{1.007 \times 10^{-6} \frac{m^2}{seg}}$ $Re = 15165.04$ Cuando $Re > 4000$ el flujo es turbulento. Se halla la rugosidad relativa (k) del PVC. $k = \frac{\epsilon}{diámetro}$ $k = \frac{0.000015 m}{0.01818 m} = 0.000082$ Se hallar el factor de fricción aproximado
Accesorios	Coefficiente de perdida (k)										
Codo de 90°	0.7										
Codo de 45°	0.4										
Boquilla	2.8										
Total	3.9										
Perdidas por accesorios del tramo 4. $HL_{S4} = k_4 \times \frac{(V_4)^2}{2g}$											



Elaboración propia.

Para el tramo 5

Tabla 2-11 Demostración pasó a paso de pérdidas por fricción en el tramo 5.

Perdida secundaria	Perdida primaria
Pérdidas secundarias en el tramo 5.	Perdidas primarias en el tramo 5. Numero de Reynolds:
	$Re = \frac{V * d}{\gamma}$

Accesorios	Coefficiente de perdida (k)
Codo de 90°	0.7
Total	0.7

Perdidas por accesorios del tramo 4.

$$HL_{S5} = k_5 \times \frac{(V_4)^2}{2g}$$

$$HL_{S5} = 0.7 \times \frac{\left(1.69 \frac{m}{seg}\right)^2}{2 \left(9.8 \frac{m}{seg^2}\right)} = 0.10m$$

$$Re = \frac{\left(1.69 \frac{m}{seg}\right) (0.01818 m)}{1.007 \times 10^{-6} \frac{m^2}{seg}}$$

$$Re = 30510.62$$

Cuando $Re > 4000$ el flujo es turbulento.
Se halla la rugosidad relativa (k) del PVC.

$$k = \frac{\epsilon}{diámetro}$$

$$k = \frac{0.0000015 m}{0.01818 m} = 0.000082$$

Se hallar el factor de fricción aproximado

Material	ft	mm
Vidrio, plástico	0	0
Concreto	0.003-0.03	0.9-9
Dueta de madera	0.0016	0.5
Hule, alisado	0.000033	0.01
Tubería de cobre o latón	0.000005	0.0015
Hierro fundido	0.00085	0.26
Hierro galvanizado	0.0005	0.15
Hierro puleado	0.00015	0.046
Acero inoxidable	0.00007	0.022
Acero comercial	0.00015	0.046

De la imagen anterior se determino que el valor de $f =$ factor de fricción = 0.024.
Ahora f se reemplaza en la ecuacion de perdidas primarias (ecuacion 2), para obtener el número de perdidas primarias en el tramo 1.

$$HL_{f5} = 0.024 \times \frac{0.22 m \times \left(1.69 \frac{m}{seg}\right)^2}{0.01818 m \times 19.62 \frac{m}{seg^2}} = 0.042 m$$

Elaboración propia.

Para el tramo 6

Tabla 2-12 Demostración pasó a paso de pérdidas por fricción en el tramo 6.

Perdida secundaria	Perdida primaria
Pérdidas secundarias en el tramo 6.	Perdidas primarias en el tramo 6. Numero de Reynolds:
	$Re = \frac{V * d}{\gamma}$

Accesorios	Coefficiente de perdida (k)
Tee de 90°	0.8
Total	0.8

Perdidas por accesorios del tramo 6.

$$HL_{S6} = k_6 \times \frac{(V_4)^2}{2g}$$

$$HL_{S6} = 0.8 \times \frac{\left(1.69 \frac{m}{seg}\right)^2}{2 \left(9.8 \frac{m}{seg^2}\right)} = 0.11m$$

$$Re = \frac{\left(1.69 \frac{m}{seg}\right) (0.01818 m)}{1.007 \times 10^{-6} \frac{m^2}{seg}}$$

$$Re = 30510.62$$

Cuando $Re > 4000$ el flujo es turbulento.
Se halla la rugosidad relativa (k) del PVC.

$$k = \frac{\varepsilon}{diámetro}$$

$$k = \frac{0.0000015 m}{0.01818 m} = 0.000082$$

Se hallar el factor de fricción aproximado

Material	Rugosidad ε (ft)	Rugosidad ε (mm)
Vidrio, plástico	0	0
Concreto	0.003-0.03	0.9-9
Distia de madera	0.0016	0.5
Hule, alisado	0.000033	0.01
Tuberia de cobre o latón	0.000005	0.0015
Hierro fundido	0.00085	0.26
Hierro galvanizado	0.0005	0.15
Hierro puleado	0.00015	0.046
Acero inoxidable	0.000007	0.002
Acero comercial	0.00015	0.046

De la imagen anterior se determino que el valor de $f =$ *factor de fricción* = 0.024.
Ahora f se reemplaza en la ecuacion de perdidas primarias (ecuacion 2), para obtener el número de perdidas primarias en el tramo 1.

$$HL_{f6} = 0.024 \times \frac{1 m \times \left(1.69 \frac{m}{seg}\right)^2}{0.01818 m \times 19.62 \frac{m}{seg^2}} = 0.19 m$$

Elaboración propia.

Para el tramo 7

Tabla 2-13 Demostración pasó a paso de pérdidas por fricción en el tramo 7.

Perdida secundaria	Perdida primaria
--------------------	------------------

Pérdidas secundarias en el tramo 7.

Accesorios	Coefficiente de pérdida (k)
Codo de 90°	0.7
Codo de 45°	0.4
Boquilla	2.8
Total	3.9

Pérdidas por accesorios del tramo 7.

$$HL_{S7} = k_7 \times \frac{(V_7)^2}{2g}$$

$$HL_{S7} = 3.9 \times \frac{\left(0.84 \frac{m}{seg}\right)^2}{2 \left(9.8 \frac{m}{seg^2}\right)} = 0.13m$$

Pérdidas primarias en el tramo 7.

Numero de Reynolds:

$$Re = \frac{V * d}{\gamma}$$

$$Re = \frac{\left(0.84 \frac{m}{seg}\right) (0.01818 m)}{1.007 \times 10^{-6} \frac{m^2}{seg}}$$

$$Re = 15165.04$$

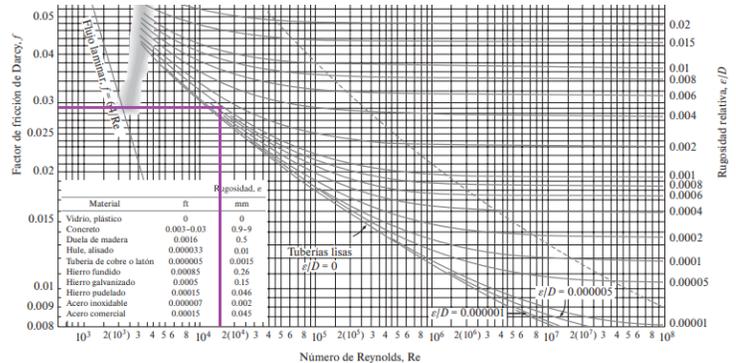
Cuando $Re > 4000$ el flujo es turbulento.

Se halla la rugosidad relativa (k) del PVC.

$$k = \frac{\epsilon}{diametro}$$

$$k = \frac{0.0000015 m}{0.01818 m} = 0.000082$$

Se hallar el factor de fricción aproximado



De la imagen anterior se determino que el valor de $f =$ factor de fricción = 0.029.

Ahora f se reemplaza en la ecuacion de perdidas primarias (ecuacion 2), para obtener el número de perdidas primarias en el tramo 7.

$$HL_{f7} = 0.029 \times \frac{0.20 m \times \left(0.84 \frac{m}{seg}\right)^2}{0.01818 m \times 19.62 \frac{m}{seg^2}} = 0.011 m$$

Elaboración propia.

Para el tramo 8 y 9, se hallan los dos debido a que son los últimos dos tramos pertenecientes a la boquilla C.

Tabla 2-14 Demostración pasó a paso de pérdidas por fricción en el tramo 8 y 9.

Perdida secundaria	Perdida primaria
--------------------	------------------

Pérdidas secundarias en el tramo 8 y 9.

Accesorios	Coefficiente de pérdida (k)
Codo de 90° x 3	2.1
Codo de 45°	0.4
Boquilla	2.8
Total	5.3

Pérdidas por accesorios del tramo 8 y 9.

$$HL_{S8,9} = k_{8,9} \times \frac{(V_{8,9})^2}{2g}$$

$$HL_{S8,9} = 5.3 \times \frac{\left(0.84 \frac{m}{seg}\right)^2}{2 \left(9.8 \frac{m}{seg^2}\right)} = 0.18m$$

Pérdidas primarias en el tramo 8 y 9.

Numero de Reynolds:

$$Re = \frac{V * d}{\gamma}$$

$$Re = \frac{\left(0.84 \frac{m}{seg}\right) (0.01818 m)}{1.007 \times 10^{-6} \frac{m^2}{seg}}$$

$$Re = 15165.04$$

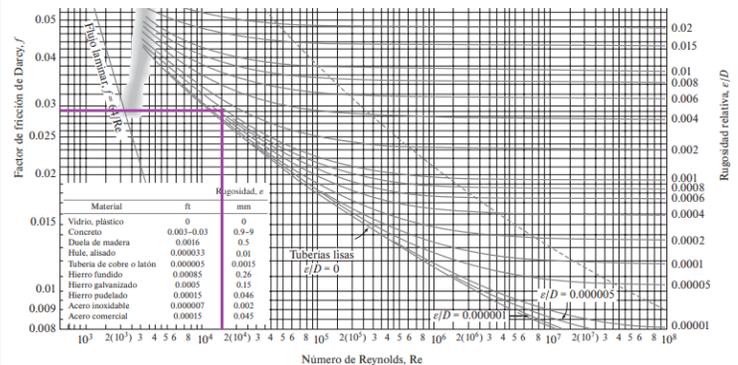
Cuando $Re > 4000$ el flujo es turbulento.

Se halla la rugosidad relativa (k) del PVC.

$$k = \frac{\varepsilon}{diámetro}$$

$$k = \frac{0.000015 m}{0.01818 m} = 0.000082$$

Se hallar el factor de fricción aproximado



De la imagen anterior se determino que el valor de $f =$ factor de fricción = 0.029.

Ahora f se reemplaza en la ecuacion de perdidas primarias (ecuacion 2), para obtener el número de perdidas primarias en el tramo 8 y 9.

$$HL_{f7} = 0.029 \times \frac{2.1 m \times \left(0.84 \frac{m}{seg}\right)^2}{0.01818 m \times 19.62 \frac{m}{seg^2}} = 0.12 m$$

Elaboración propia.

Ahora, se realizó la sumatoria de pérdidas **Tabla 2-15** por fricción del tramo 1 hacia las diferentes boquillas.

Tabla 2-15 Pérdidas por fricción del tramo 1 hacia las boquillas.

Sumatoria de las perdidas por fricción del tramo 1 a la boquilla A.	Sumatoria de las perdidas por fricción del tramo 1 a la boquilla B.	Sumatoria de las perdidas por fricción del tramo 1 a la boquilla C.
$HL = HL_1 + HL_2 + HL_3 + HL_4$ Perdida tramo 1: $HL_1 = HL_{S1} + HL_{f1} = 0.062m$ $+ 0.0232m$ $HL_1 = 0.085m$ Perdida tramo 2: $HL_2 = HL_{S2} + HL_{f2} = 0.064m$ $+ 0.017m$ $HL_2 = 0.081m$ Perdida tramo 3: $HL_3 = HL_{S3} + HL_{f3} = 0.28m$ $+ 0.040m$ $HL_3 = 0.32m$ Perdida tramo 4: $HL_4 = HL_{S4} + HL_{f4} = 0.14 m$ $+ 0.047 m$ $HL_4 = 0.018m$ Pérdida total desde el tramo 1 hasta la boquilla A: $HL = HL_1 + HL_2 + HL_3 + HL_4$ $HL = 0.085m + 0.081m + 0.032m$ $+ 0.018m$ $HL = 0.66m$	$HL = HL_1 + HL_2 + HL_3 + HL_4 + HL_5$ $+ HL_6 + HL_7$ Perdida tramo 1: $HL_1 = HL_{S1} + HL_{f1} = 0.062m$ $+ 0.0232m$ $HL_1 = 0.085m$ Perdida tramo 2: $HL_2 = HL_{S2} + HL_{f2} = 0.064m + 0.017m$ $HL_2 = 0.081m$ Perdida tramo 3: $HL_3 = HL_{S3} + HL_{f3} = 0.28m + 0.040m$ $HL_3 = 0.32m$ Perdida tramo 4: $HL_4 = HL_{S4} + HL_{f4} = 0.14 m + 0.047 m$ $HL_4 = 0.018m$ Perdida tramo 5: $HL_5 = HL_{S5} + HL_{f5} = 0.10 m + 0.042m$ $HL_5 = 0.14m$ Perdida tramo 6: $HL_6 = HL_{S6} + HL_{f6} = 0.11m + 0.19$ $HL_6 = 0.3m$ Perdida tramo 7(Boquilla B): $HL_7 = HL_{S7} + HL_{f7} = 0.13m + 0.011m$ $HL_7 = 0.14m$ Pérdida total desde el tramo 1 hasta la boquilla B: $HL = HL_1 + HL_2 + HL_3 + HL_4 + HL_5$ $+ HL_6 + HL_7$ $HL = 0.085m + 0.081m + 0.032m$ $+ 0.018m + 0.142m$ $+ 0.3m + 0.14m$ $HL = 1.06 m$	$HL = HL_1 + HL_2 + HL_3 + HL_4 + HL_5$ $+ HL_6 + HL_7$ $+ HL_{8,9}$ Perdida tramo 1: $HL_1 = HL_{S1} + HL_{f1} = 0.062m$ $+ 0.0232m$ $HL_1 = 0.085m$ Perdida tramo 2: $HL_2 = HL_{S2} + HL_{f2} = 0.064m + 0.017m$ $HL_2 = 0.081m$ Perdida tramo 3: $HL_3 = HL_{S3} + HL_{f3} = 0.28m + 0.040m$ $HL_3 = 0.32m$ Perdida tramo 4: $HL_4 = HL_{S4} + HL_{f4} = 0.14 m + 0.047 m$ $HL_4 = 0.018m$ Perdida tramo 5: $HL_5 = HL_{S5} + HL_{f5} = 0.10 m + 0.042m$ $HL_5 = 0.14m$ Perdida tramo 6: $HL_6 = HL_{S6} + HL_{f6} = 0.11m + 0.19$ $HL_6 = 0.3m$ Perdida tramo 8 y 9 (Boquilla C): $HL_{8,9} = HL_{S8,9} + HL_{f8,9}$ $= 0.18m + 0.12m$ $HL_{8,9} = 0.3m$ Pérdida total desde el tramo 1 hasta la boquilla C: $HL = HL_1 + HL_2 + HL_3 + HL_4 + HL_5$ $+ HL_6 + HL_7$ $+ HL_{8,9}$

		$HL = 0.085m + 0.081m + 0.032m$ $+ 0.018m + 0.142m$ $+ 0.3m + 0.14m$ $+ 0.3m$ $HL = 1.36 m$
--	--	---

Después de esto, se realiza la ecuación de Bernoulli, la ecuación demuestra que se escoge desde el punto más bajo donde inicia el sistema hidráulico (tramo de tanque a bomba) hasta el punto final que significaría las boquillas de aspersión, con el fin de analizar las energías presentes y así poder determinar potencia necesitara la bomba para cumplir con los requerimientos del sistema hidráulico.

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 + H_a - H_E - H_L = \frac{p_A}{\gamma} + \frac{v_A^2}{2g} + h_A \quad (5)$$

Dónde:

$\frac{p_1}{\gamma} =$ Energía de presión en el punto inicial

$\frac{v_1^2}{2g} =$ Energía de velocidad en el punto inicial

$h_1 =$ Energía de altura en el punto inicial

$H_a =$ Energía de la bomba

$H_E =$ Energía extra de un accesorio

$H_L =$ Perdidas totales por fricción

$\frac{p_A}{\gamma} =$ Presión en el punto final

$\frac{v_A^2}{2g} =$ Velocidad en el punto final

$h_A =$ Energía de altura del punto final

Debido a que el tramo inicial que es donde se encuentra el tanque, se debe tener en cuenta que:

$\frac{p_1}{\gamma} =$ ES CERO, debido a que el tanque se encuentra abierto para su llenado, esto quiere decir que la presión que actúa sobre el líquido es la presión atmosférica.

$\frac{v_1^2}{2g}$ =ES CERO, el líquido va bajando lentamente desde el tanque hasta llegar a la bomba, entonces esto se considera nulo.

H_E =ES CERO, debido a que no hay ningún accesorio extra que aporte energía al fluido.

$\frac{p_A}{\gamma}$ =ES CERO, debido que en el punto final el líquido sale a presión atmosférica.

Se despeja la ecuación (4) para hallar la potencia necesaria en la bomba para el tramo 1 a la boquilla A, obteniendo la ecuación (5).

$$H_a = \frac{v_A^2}{2g} + h_A + H_L - h_1 \quad (6)$$

$$H_a = \frac{\left(0.84 \frac{m}{seg}\right)^2}{2 \left(9.8 \frac{m}{seg^2}\right)} + 0.68m + 0.66m - 0.5m$$

$$H_a = 0.875 m$$

Energía que necesita la bomba para poder mover el líquido por el tramo 1 hasta la boquilla A es de 0.875 m.

Ahora, se realiza el análisis de la ecuación (6) para obtener la potencia necesaria de la bomba para el tramo 1 a la boquilla B.

$$H_{aB} = \frac{v_B^2}{2g} + h_B + H_L - h_1$$

$$H_{aB} = \frac{\left(0.84 \frac{m}{seg}\right)^2}{2 \left(9.8 \frac{m}{seg^2}\right)} + 1.8m + 1.6m - 0.5m$$

$$H_{aB} = 2.39m$$

La energía que necesita la bomba para poder mover el líquido por el tramo 1 hasta la boquilla B es de 2.39m.

Finalmente, se realiza el análisis de la ecuación (6) para obtener la potencia necesaria de la bomba para el tramo 1 a la boquilla C.

$$H_{ac} = \frac{v_c^2}{2g} + h_c + H_L - h_1$$

$$H_{ac} = \frac{\left(0.84 \frac{m}{seg}\right)^2}{2 \left(9.8 \frac{m}{seg^2}\right)} + 1.8m + 1.226m - 0.5m$$

$$H_{ac} = 2.56m$$

La energía que necesita la bomba para poder mover el líquido por el tramo 1 hasta la boquilla C es de 2.56m.

Se debe escoger entre los tres análisis anteriormente realizados, cual es la energía con mayor magnitud la cual debe agregar la bomba. En este caso se escogió H_{ac} con energía de magnitud 2.56m.

Ahora se halla la potencia mecánica que necesitara la bomba respecto al caudal que se requiere y la energía que debe agregar. En la ecuación (6), se visualiza la fórmula para hallar la potencia mecánica.

$$\mathcal{W}_{bomba} = \frac{(\rho) \cdot (\dot{V}) \cdot (g) \cdot (h_{bomba})}{n_{bomba}} \quad (7)$$

Dónde:

ρ = Densidad del agua 20°C

\dot{V} = Caudal que debe suministrar la bomba

g = Gravedad

h_{bomba} = Energía que debe agregar la bomba

n_{bomba} = Eficiencia de la bomba

Se reemplaza los valores en la ecuación (7).

$$\mathcal{W}_{bomba} = \frac{\left(998 \frac{kg}{m^3}\right) \cdot \left(0.00066 \frac{m^3}{seg}\right) \cdot (2.58m) \cdot \left(9.81 \frac{m}{seg^2}\right)}{0.80}$$

$$\mathcal{W}_{bomba} = 20.83 \text{ watts} \approx 0.03 \text{ Horse power (Hp)}$$

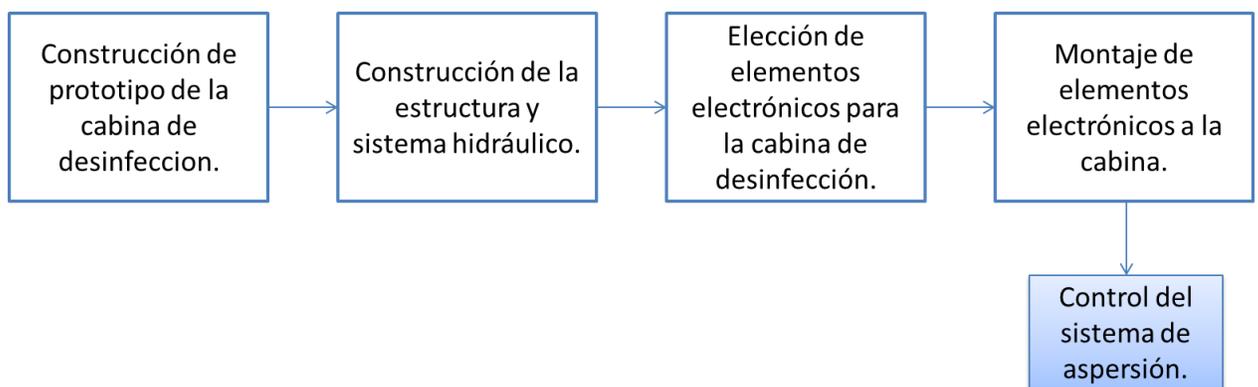
Conclusión:

- ❖ El caudal que la bomba tiene que enviar a los tres tramos y a las tres boquillas es de $Q_{bomba} = 0.00066 \frac{m^3}{seg}$.
- ❖ La bomba debe tener una potencia mecánica igual o mayor a 0.03Hp, por este motivo se seleccionó una bomba Pedrollo (Pedrollo, 2020) de medio caballo de potencia.

2.2 Construcción de prototipo de la cabina de desinfección.

En esta sección se explica el proceso de la construcción estructural, hidráulica y electrónica de la cabina de desinfección, en la **Figura 2-12** se visualiza un diagrama de bloques en el cual se expone lo que se explicara en esta sección.

Figura 2-12 Diagrama de bloques de los pasos para la construcción de la cabina de desinfección.



Elaboración propia.

2.2.1 Construcción de la estructura de la cabina de desinfección.

Para la construcción de la cabina, se compró 50 m de tubería de una pulgada (1") calibre 18 Steel Cold Rolled(ver **Figura 2-13 (a)**); este material se usó debido a que cuenta con características apropiadas para la construcción de estos elementos, como se evidenció en la sección 2.1.1.2. La estructura de la cabina se sujetó mediante puntos de soldadura 6013 West Arco de 1/8" x 5 Kg, se escogió ya que este tipo de soldadura cumple con la norma AWS A5.1 la cual rige el uso en aceros de alta resistencia con una tensión media en la estructura de hasta 60.000 psi, especialmente en láminas o tuberías delgadas. Luego de este se instaló una lámina de pasarela tipo LaF (ver **Figura 2-13 (b, c)**), pues favorece en su resistencia y dureza, ya que aquí se encuentra el punto más crítico de la estructura de acuerdo con las simulaciones realizadas. Luego se instalaron 6 rodachines cada uno cuenta con un freno de seguridad para neutralizar su movimiento durante el proceso de desinfección, para hacer más fácil el traslado de la cabina. Al finalizar con la construcción de la cabina, se procedió a aplicar pintura blanca epóxica para brindar un aspecto limpio y salubre (ver **Figura 2-13 (c)**).

Para el sistema hidráulico, se hizo la compra de 5 m de tubería PVC RDE 13.5 de 1/2", se decidió este tipo de tubería porque brinda resistencia a la corrosión interna a diferentes tipos de líquidos como lo son ácidos, álcalis, sales y compuestos orgánicos como alcoholes e hidrocarburos, al no reaccionar con químicos presentes, no modifica las propiedades de los líquidos transportados; también presenta excelentes condiciones al uso en medios de desinfección puesto que son inodoros, sin sabor y no tóxicos (ver **Figura 2-13 (d)**). También se hizo uso de uniones, codos, ángulos para permitir la conexión de la bomba de 0.5 hp marca Pedrollo y la caneca de 60 L, esta capacidad se eligió la caneca con esta capacidad ya que comercialmente viene en esta presentación por esto servirá de reservorio donde ira depositada el líquido desinfectante (ver **Figura 2-13 (e)**). Finalmente se hizo una cubierta de PVC para cielo raso presentan características como alta resistencia

a la corrosión, aparte de dar una buena apariencia de limpieza y salubridad (ver **Figura 2-13 (f)**).

Figura 2-13 Proceso de construcción de la estructura de la cabina de desinfección.



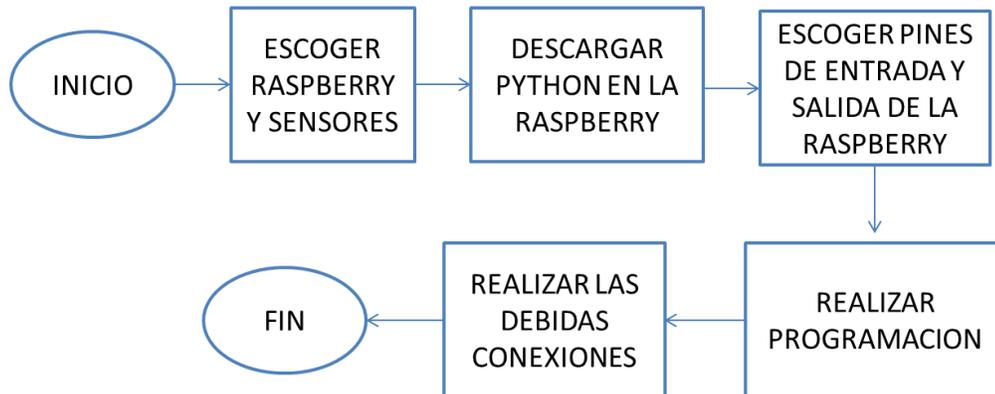
Elaboración propia.

2.3 Colocación de los sensores para la cabina de desinfección.

Explicación de elementos electrónicos utilizados en la cabina de desinfección:

A continuación, se visualiza un diagrama de bloques de sus pasos para realizar la parte de electrónica de la cabina de desinfección.

Figura 2-14 Diagrama de bloques de los pasos para el montaje de la parte electrónica para la cabina de desinfección.



Elaboración propia.

- **Electrobomba:**

Debido a los cálculos hidráulicos realizados anteriormente, se conoce que es necesaria una potencia de **0.0030 Hp**. Se conoce que en el mercado no hay una bomba comercial que tenga esta potencia, es por esto que se eligió una de 0.5 Hp, ya que es la más cercana a esta potencia. Esta bomba tiene ramificación la cual está conectada al tanque que suministra el líquido desinfectante, por otro lado, está conectada a un relé estado sólido y a su fuente de alimentación de 120V AC.

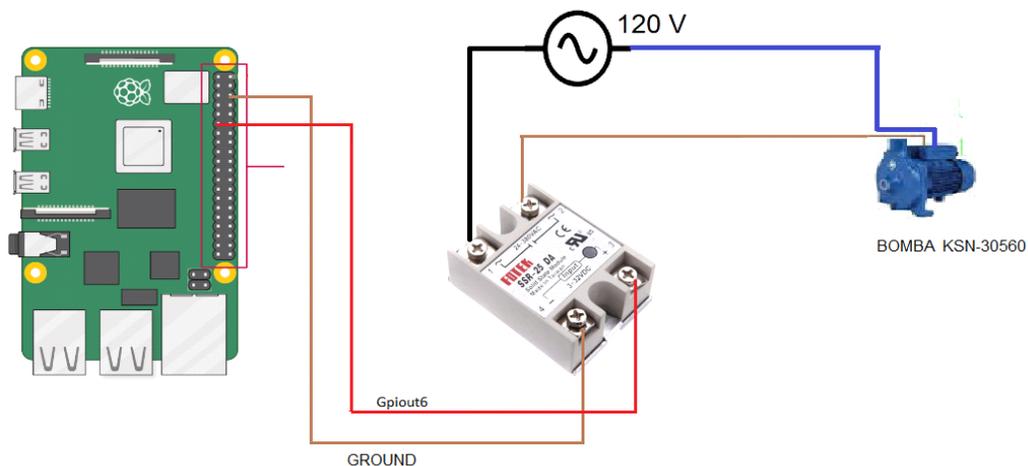
- **Relé estado sólido:**

Los relés de estado sólido son utilizados principalmente para poner en funcionamiento aquellos dispositivos electrónicos o eléctricos mediante una señal de control. Una de sus características fundamentales es que entre la corriente del circuito de control y la corriente del circuito de potencia no tiene conexión alguna, es decir, no se interfieren la una con la otra. Es por esto que se escogió el relé estado sólido SSR-25DA, este trabaja con una alimentación de 3-32V DC, y tiene un voltaje de carga de 24-480V AC, una frecuencia de

50-60Hz, y un amperaje 25 amperios, lo cual para nuestra electrobomba es perfecto ya que esta tiene una frecuencia de 60Hz, un voltaje de alimentación DE 120V AC, y 4.6 amperios.

Cuando hablamos de amperaje estamos hablando normalmente lo que consume un equipo o de su consumo máximo que puede llegar a pedir, en este caso nuestro relé puede soportar hasta 25 amperios lo cual no afecta en nada a la bomba ya que esta solo le pide 4.6 amperios, el problema sería si la bomba pidiera más amperaje del que puede dar el relé, ya que ahí podría haber una sobrecarga y así mismo podría quemar la bomba. Igualmente, este relé no genera ruido electromagnético que pueda afectar el desempeño de la bomba y al mismo tiempo el desempeño del circuito de control (Rondizzoni, 2020). A continuación, en la **Figura 2-15** se visualiza el esquema de conexión de la electrobomba relé y Raspberry.

Figura 2-15 Conexión entre la electrobomba, Relé y Raspberry.



Elaboración propia.

- **Raspberry 2 pi B+:**

Este dispositivo es una pequeña computadora de bajo costo, la cual se puede conectar a tv, un monitor de computador, y usarse con mouse o teclado estándar. Tiene un procesador de 4 núcleo la cual la hace más potente que sus versiones anteriores, la Raspberry pi3 tiene características similares a ésta versión (Raspberry pi 2B+), pero esta ya trae incorporada wifi integrada, y su valor es un poco más costoso, en este proyecto no era necesario tener algún dispositivo conectado a wifi, es por esta razón que se optó por la Raspberry pi 2B+.

Su lenguaje de programación se puede cualquier lenguaje que permita compilarse en Linux como el java, de igual manera usa de manera nativa Python, lo cual nos facilitaba para realizar la interfaz al momento de fijar la pantalla LCD Touch (Francois, 2016).

- **Electroválvula:**

En el sistema del presente se debe controlar el flujo del líquido, es por esto que se escogió la electroválvula CWX-15N, esta electroválvula tiene dos posiciones abierto o cerrada.

Teniendo en cuenta los cálculos hidráulicos donde el punto P, es el nodo más importante pues es donde se inicia la ramificación del sistema, dando como resultado un flujo ramificado, es por esto que la electroválvula es ubicada junto con el sensor de flujo debido a que por ellos debe pasar un caudal de 25 L/min.

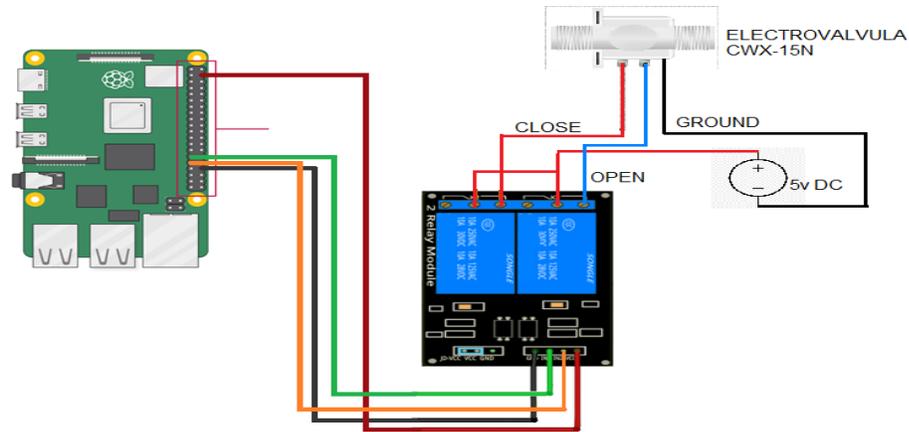
- **Relé dos canales:**

Con este tipo de relé podemos llegar a controlar componentes de alto voltaje o amperaje, este caso nuestra electroválvula, ya que no puede ser manejada directamente por nuestra Raspberry, este relé nos permite controlar cargas de alto voltaje con una señal pequeña.

Este relé tiene contactos normalmente cerrado (NC) que se desactiva la salida con un "1" lógico (5 voltios), y contactos normalmente abiertos (NO) que se activa la salida al recibir un "0" lógico (0 voltios).

A continuación, en la **Figura 2-16**, se visualiza la conexión entre la electroválvula y Raspberry al Relé dos canales:

Figura 2-16 Conexión entre la electroválvula y la Raspberry al Relé de dos canales.



Elaboración propia.

- **Sensor de flujo de agua:**

En los cálculos mecánicos se determinó que por el tramo número 4 de la tubería iba a pasar un caudal de 25L/min, por esta razón se escogió el sensor de flujo de agua modelo YF-B1, ya que este tiene un rango entre 1-25L/min, este sensor trabaja con una alimentación de 5V DC, su alimentación se pudo conectar directamente de la Raspberry y no tuvimos necesidad de diseñar una etapa de potencia para este sensor.

- **Sensor de movimiento PIR:**

Debido a que se necesitaba tener un sensor el cual fuera capaz de detectar una persona, se escogió el sensor PIR debido a que este es un sensor pasivo infrarrojo, lo que quiere decir que reacciona solo ante algunas fuentes de energía, en este caso reacciona al calor del cuerpo humano, lo cual hace activar la etapa de control para que el sistema sea automático y empiece su debida desinfección. Además de esto, es de bajo costo y su comercio es de fácil acceso, otro punto a favor es que se alimenta con 5v, lo cual esta alimentación se pudo sacar directamente de las Raspberry y nos ahorrarnos una etapa de potencia para su alimentación (Bosch, 2020).

- Procedimiento de conexión elementos electrónicos:

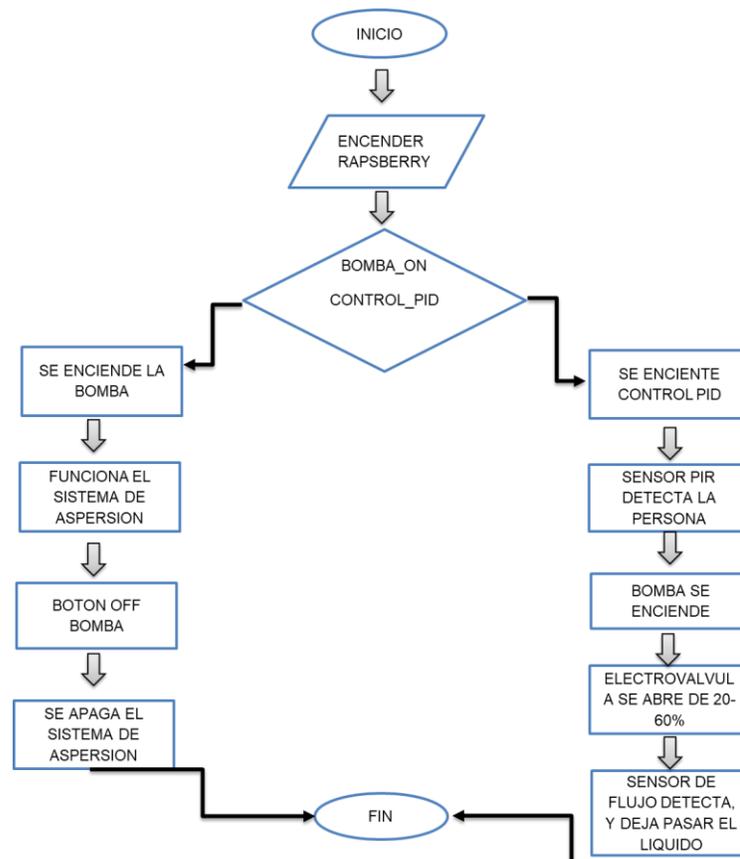
Inicialmente se tuvo en cuenta lo cálculos hidráulicos para el posicionamiento de electrobomba, esta se ubicó en la estructura del reservorio. Posteriormente se instaló la electroválvula, seguido se encuentra el sensor de flujo. Luego se ubicó el sensor PIR de una manera en la cual facilitara el detecto de la persona que ingrese a la cabina.

Por último, la Raspberry se alimenta con un cargador, a esta se conecta una pantalla touch LCD, un mouse por medio del conector USB y un teclado inalámbrico, esto se realizó para así poder ejecutar la programación directamente en la Raspberry. Concluyendo este paso se procedió a la descarga del programa Python para llevar a cabo la programación del sistema, finalmente se realizó una interfaz con una librería llamada tkinter.

En la programación se utilizaron dos métodos, la primera opción es mediante el uso manual, el cual está sujeto a dos interruptores on y off, esto para así poder prender o apagar la bomba según lo deseado. El segundo método por el cual se puede realizar el inicio del sistema de aspersión es automático, por medio del sensor de movimiento PIR que es el activa todo nuestro sistema.

A continuación, se muestra la programación en un diagrama de flujo **Figura 2-17**.

Figura 2-17 Diagrama de flujo de la programación de la Raspberry.



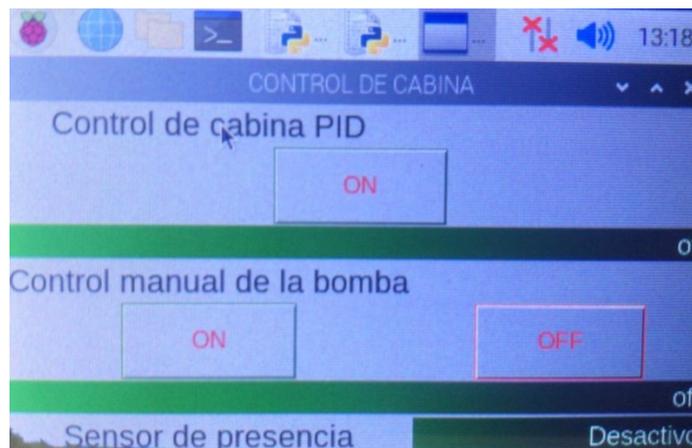
Elaboración propia.

Posterior a este pasó, se visualiza la interfaz realizada en la pantalla LCD Touch para el control de sistema de aspersion como se visualiza en la **Figura 2-18**, conociendo que funcionamiento se puede utilizar mediante dos métodos. Esto se realizó con el fin de proporcionar una mayor facilidad al manejo de esta.

La programación de la cabina fue diseñada de dos maneras, una manual que es donde el operario tiene la opción de oprimir en la interfaz bomba ON, al realizar este paso el relé estado sólido suministra la corriente necesaria para que la bomba realice su trabajo y el líquido pueda llegar a los aspersores y así hacer la debida desinfección al operario, y para poder apagar este sistema se puede oprime el botón OFF, y de esta manera el sistema manual queda totalmente apagado.

La otra opción que aparece en la interfaz es el control PID, con esta opción el sistema es automático, se tiene un sensor (PIR) el cual se encarga de detectar la persona al momento que el sensor realiza la detección envía una señal a la Raspberry, de esta manera el relé de estado sólido permite el paso de corriente hacia la bomba, la electroválvula se abre para permitir el paso del flujo el cual es controlado por el sensor YF-B1(sensor de flujo) con este sensor se asegura que pase un caudal determinado, como se explicó en la sección 2.1.2, cuando el flujo llega a los aspersores el sensor PIR no detecta movimiento en la cabina, este envía una señal a la Raspberry para que apague de nuevo todo el sistema.

Figura 2-18 Interfaz realizada para el control de sistema de aspersion.



Elaboración propia.

Teniendo en cuenta los datos reales y los datos obtenidos podemos tener en cuenta el porcentaje de error relativo para algunos dispositivos.

Formula porcentaje de error relativo:

$$\%error = \left[\frac{VA - VE}{VE} \right] * 100\%$$

Dónde:

VA=valor real observado

VE=valor esperado

Voltaje alimentación DC relé estado sólido:

$$\%error_{VDC} = \left[\frac{4.95v - 5v}{5v} \right] * 100\%$$

ecuación (8).

$$\%error_{VDC} = 1\%$$

Voltaje AC relé estado sólido:

$$\%error_{VAC} = \left[\frac{126.3v - 120v}{120v} \right] * 100\%$$

ecuación (9).

$$\%error_{VAC} = 5.25\%$$

Voltaje alimentación DC relé dos canales:

$$\%error_{VDC} = \left[\frac{4.83v - 5v}{5v} \right] * 100\%$$

ecuación (10).

$$\%error_{-VDC} = 3.4\%$$

2.4 Diseño de controlador PID para sistema de aspersión.

2.4.1 Identificación de la Planta

Se tomó datos de la electroválvula que es nuestra señal de entrada donde se encuentra abierta un 20% y un 60%, con tiempo que va aumentando de 0.05s, hasta llegar a 7s, y el caudal que es nuestra señal de salida que inicia en 4.3040 L/min y finaliza 12.6210 L/min, los cuales se incluyeron en el programa Matlab como se visualiza en la **Figura 2-19**.

Figura 2-19 Datos de la electroválvula en Matlab.

1 input	2 output	3 time
20	4.3040	0
20	4.2850	0.0500
20	4.3200	0.1000
20	4.2950	0.1500
20	4.3330	0.2000
20	4.2660	0.2500
20	4.3000	0.3000
20	4.2990	0.3500
20	4.3560	0.4000
20	4.2570	0.4500
20	4.3440	0.5000
20	4.3210	0.5500
20	4.3450	0.6000
20	4.4560	0.6500
20	4.2870	0.7000
20	4.3120	0.7500
20	4.3110	0.8000
20	4.2910	0.8500
20	4.3050	0.9000

Elaboración propia.

Posterior a este procedimiento, en Matlab en la opción apps se encuentra "system identification" la cual permite hallar nuestra identificación de planta

$$\frac{k}{(1 + Tp1 * s)(1 + Tp2 * s)}$$

Donde se obtienen los valores de k, Tp1 y Tp2

$$K=0.213$$

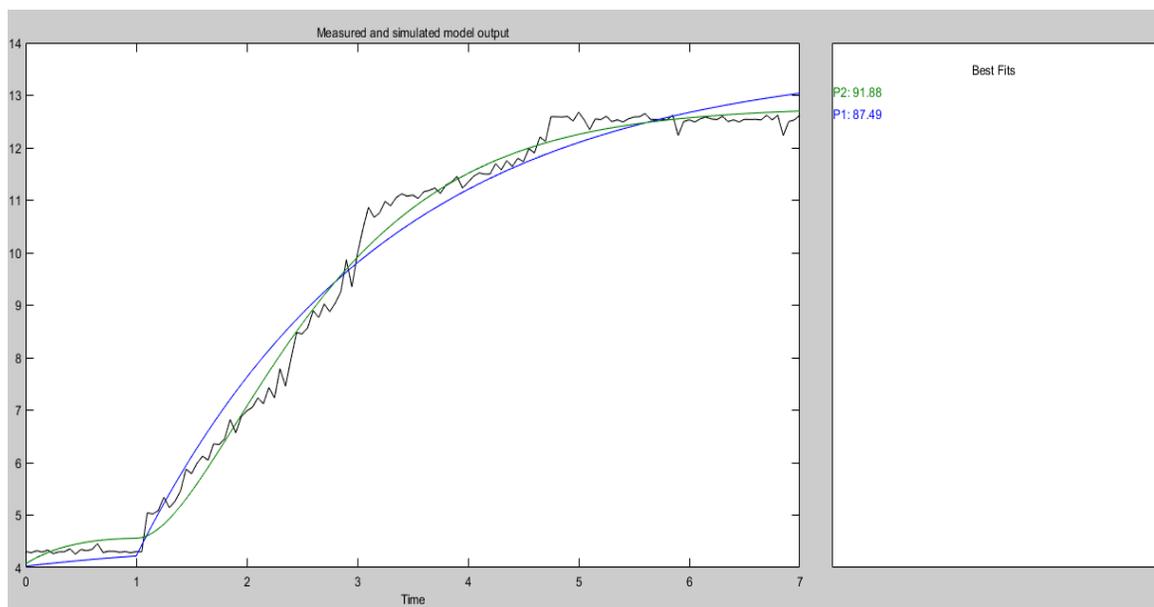
$T_{p1}=0.88564$

$T_{p2}=0.91485$

T_{p1} vendría siendo el polo 1 y T_{p2} va hacer el polo 2

Se escogió una función de transferencia con dos polos debido a que tiene un best fits 91.88 lo que quiere decir que tiene una aproximación a mi grafica de 91.88. Como se visualiza en la **Figura 2-20**.

Figura 2-20 Respuesta de la función de transferencia con dos polos.



Elaboración propia.

2.4.2 Determinación de K_p K_i K_d

En el diseño de controladores esta la opción PID(s) es con esta herramienta que se calcula K_p , K_i , y K_d . En el momento de oprimir la opción tune abre una aplicación la cual nos arroja el mejor modelo PID posible.

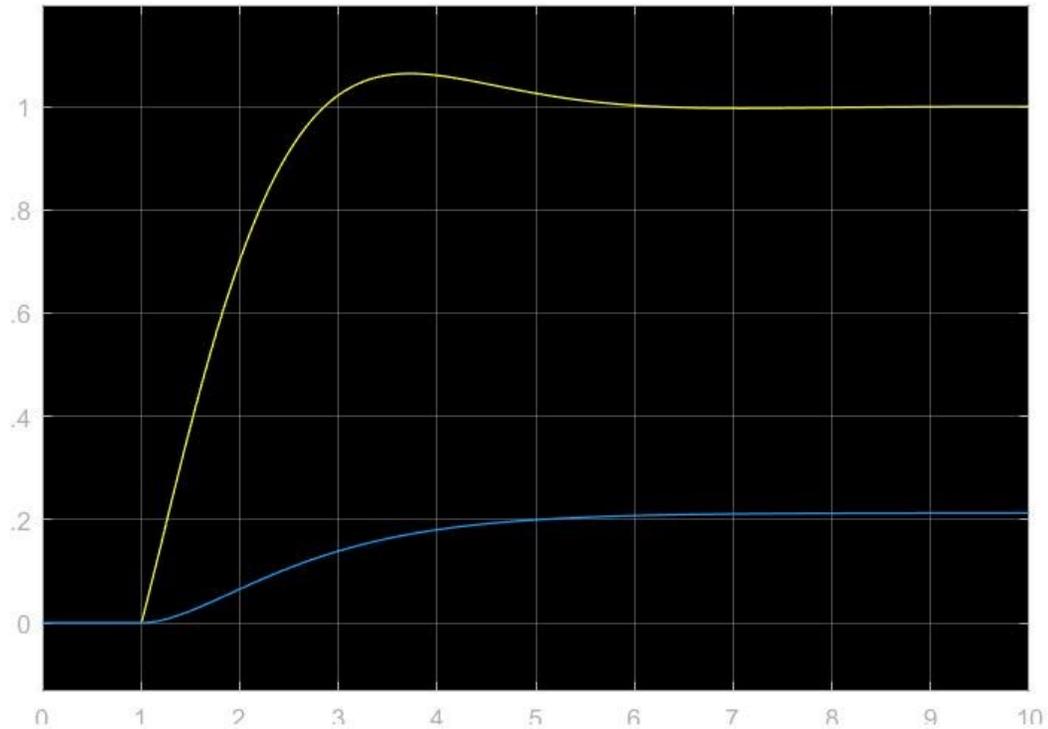
$K_p=9.5540$

$K_i=7.4361$

$K_d=2.7502$

A continuación, se visualiza la **Figura 2-21** cuando se aplica el control PID, donde se visualiza la respuesta del sistema de aspersión con control PID y sin control PID.

Figura 2-21 Respuesta grafica del control PID del sistema de aspersión.



Elaboración propia.

La línea azul es la respuesta del sistema de aspersión cuando no se aplica el control PID y la línea amarilla es la respuesta de este cuando se aplica el control PID. Con esto se puede dar cuenta que se corrige el error en estado estacionario ya que la señal de entrada es 1 y con la planta (sin el control PID) se está llegando a 0.2 y control PID si llega a 1 que es lo que se quiere.

2.4.3 Diseño de controladores

Para el diseño de controladores se utilizó la opción de simulink de Matlab junto con una señal de pulso, un sumador, un controlador PID, dos funciones de transferencia, un osciloscopio, un mux la cual nos permite realizar múltiples conexiones.

Teniendo en cuenta que ya se tiene identificada la planta, a continuación se presenta la función de transferencia hallada:

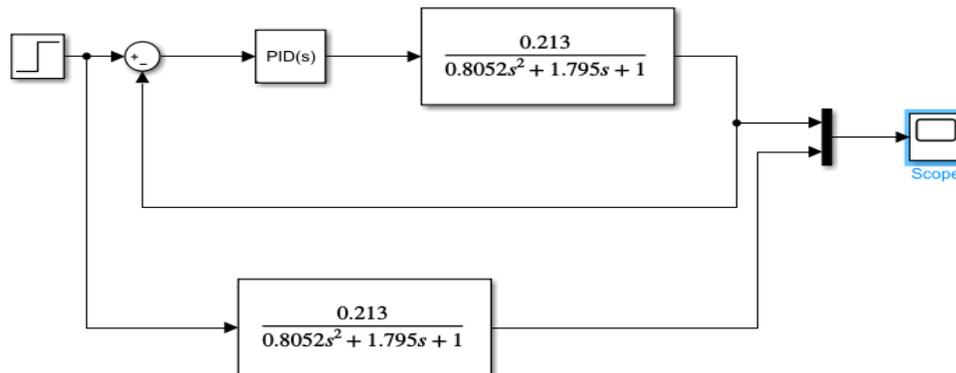
$$\frac{0.213}{(1 + 0.88564s)(1 + 0.91485s)}$$

$$\frac{0.213}{(1 + 1.795s + 0.8052s^2)}$$

ecuación (11).

A continuación, se visualiza la **Figura 2-22**, donde se muestra el diseño del control PID con la función de transferencia anteriormente determinada.

Figura 2-22 Diseño del control PID.

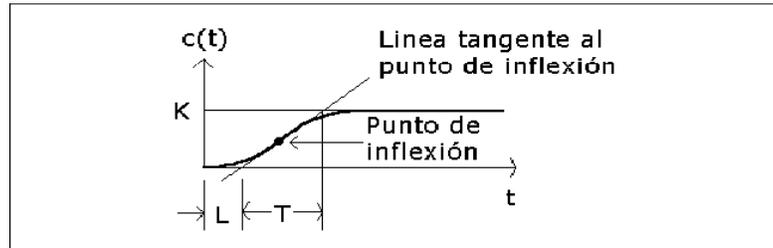


Elaboración propia.

Se realizaron otros procesos para el diseño del controlador PID, entre estos procesos está el método de Ziegler -Nichols

- **método de Ziegler -Nichols:** para este método se calcularon los parámetros K, L y T que se pueden observar en la siguiente Figura 2-23

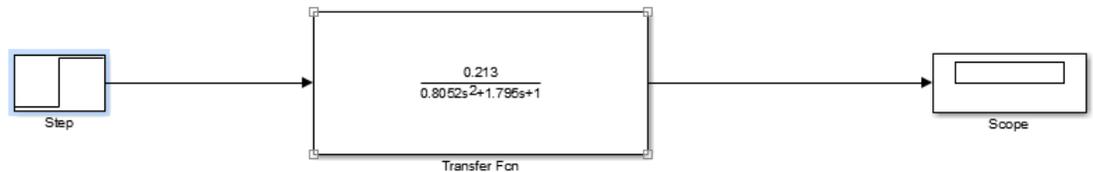
Figura 2-23 Parámetros de un controlador Ziegler-Nichols



Parámetros de un controlador Ziegler-Nichols

- Posteriormente se produjo en la aplicación simulink del software Matlab, la entrada escalón al modelo de la columna identificada como se muestra en la siguiente **Figura 2-24**

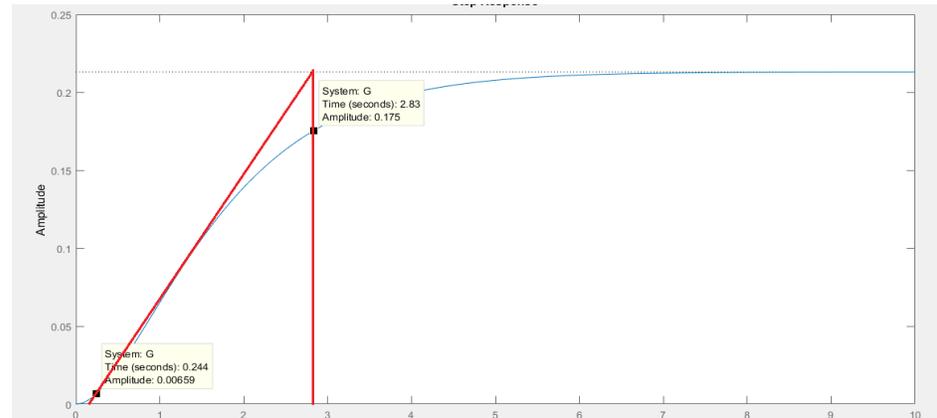
Figura 2-24 planta identifica con entrada escalón



Elaboración propia

En la **Figura 2-25** es la respuesta a una entrada Paso y en ella, se posicionan las líneas planteadas para determinar los coeficientes.

Figura 2-25 Respuesta paso del modelo identificado



elaboración propia

De la gráfica anterior se obtienen los coeficientes L , T y K que son:

$$L = 0.244$$

$$T = 2.586$$

$$K = 0.213$$

A continuación de muestra en la **Figura 2-26** las reglas de ajuste de controladores PID para el método Ziegler-Nichols

Figura 2-26 reglas de ajuste de controladores PID para el método Ziegler-Nichols

$$\text{Controller Transfer Function : } K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad R = \frac{a}{L} = \frac{K}{T} = \text{Pendiente!}$$

Mode	ZN : PRM (step) Process Reaction Method	AH : UCM (relay) Ultimate Cycle Method	KR : PMM (relay + delay) Phase Margin Method
P - control	$K_p = 1/RL$	$K_p = 0.5K_c$	ajuste PID , como ZN/AH
PI - control	$K_p = 0.9/RL$ $T_i = 3.3L$	$K_p = 0.45K_c$ $T_i = 0.83T_c$	ajuste PID , como ZN/AH
PID - control	$K_p = 1.2/RL$ $T_i = 2L$ $T_d = 0.5L$	$K_p = 0.6K_c$ $T_i = 0.5T_c$ $T_d = 0.125T_c$	$K_p = 0.8K_c$ $T_i = 0.64T_c$ $T_d = 0.16T_c$

Se halla el coeficiente R:

$$R = \frac{K}{T}$$

$$R = \frac{0.213}{2.586} = 0.0823$$

ecuación (12).

Luego, se calcula Kp, Ti, y Td para un control PID

$$Kp = \frac{1.2}{RL} = \frac{1.2}{(0.0823) * (0.244)}$$

$$Kp = 59.757$$

ecuación (13).

$$Ti = 2L = 2 * (0.244)$$

$$Ti = 0.488$$

ecuación (14).

$$Td = 0.5L = 0.5 * (0.244)$$

$$Td = 0.122$$

ecuación (15).

Los valores Kp, Ti, y Td hallados se remplazan en la siguiente ecuación.

$$G_{pid} = Kp \left[1 + \frac{1}{Tis} + Tds \right]$$

$$G_{pid} = 59.757 \left[1 + \frac{1}{0.488s} + 0.122s \right]$$

ecuación (16).

Para poder realizar la simulación del comportamiento del controlador en el software, se tuvo que calcular los parámetros P, I y D los cuales se plantearon de la siguiente manera.

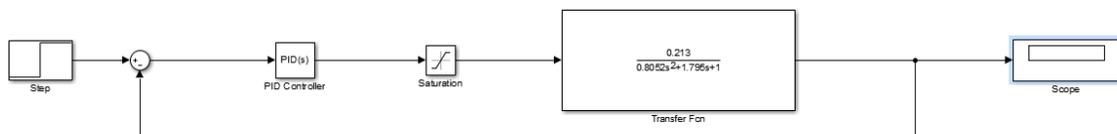
$$P = Kp = 59.757$$

$$I = \frac{Kp}{Ti} = \frac{59.757}{0.488} = 122.452$$

$$D = Kp * Td = 59.757 * 0.122 = 7.290$$

Con los datos hallados en el paso anterior se implementó el modelo en simulink como se muestra en la siguiente **Figura 2-27**, se utilizó un bloque de saturación para garantizar la respuesta de controlador este en el rango de operación del actuador

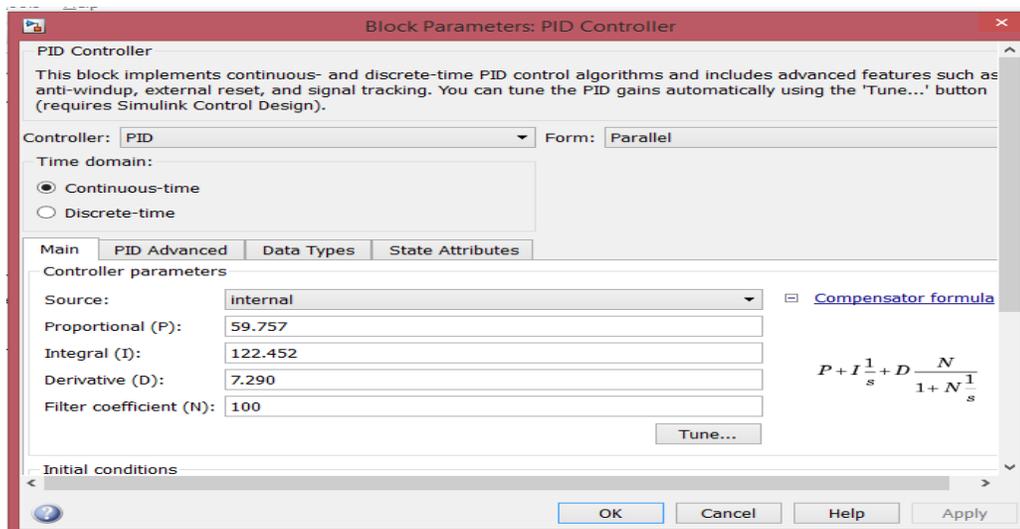
Figura 2-27 diagrama de bloques con controlador PID para el sistema



Elaboración propia **Figura 2-27**

Los parámetros P, I y D hallados, se ingresan en el bloque de parámetros PID del software Matlab, como se observa en **Figura 2-28** el coeficiente N, que se utiliza para no implementar una función impropia se obtiene a partir de la herramienta Tune del software Matlab.

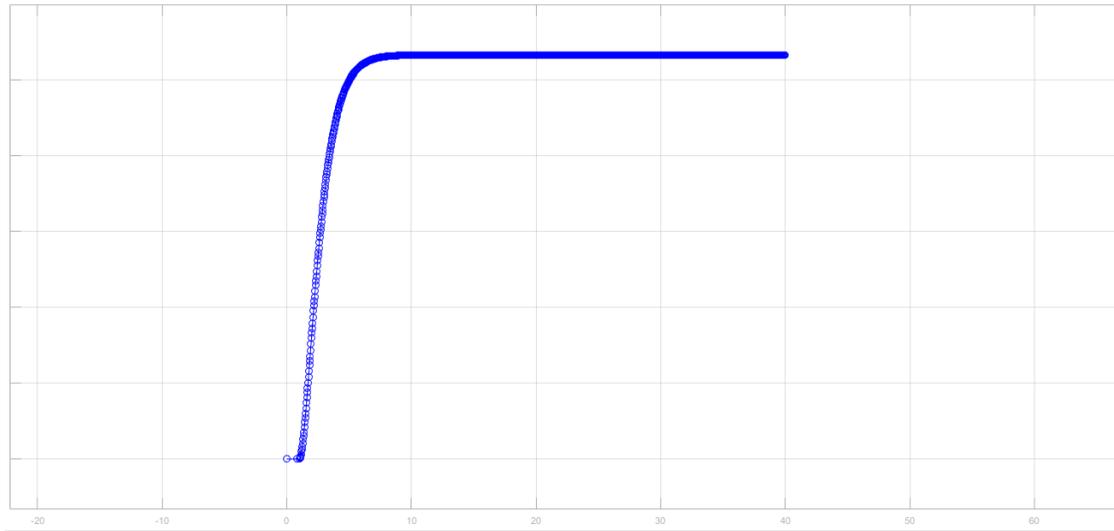
Figura 2-28 herramienta tune para ingreso de los parámetros del controlador PID



Elaboración propia

La respuesta en lazo cerrado de la planta con el controlador ZN hallado se observa en la siguiente figura **Figura 2-29**

Figura 2-29 respuesta en lazo cerrado de la planta con el controlador ZN



Elaboración propia

En la gráfica anterior se encuentra la respuesta en lazo cerrado del sistema la cual nos presenta que un sistema que es estabilizado cuando llega a 10s.

Se implementaron dos métodos de validación para las funciones de transferencia de los controladores generadas y sintonizadas mediante la herramienta toolbox del programa Matlab y método de Ziegler -Nichols, de estos dos métodos se determino trabajar con los datos arrojados por el programa Matlab ya que al momento de realizar la simulación con su controlador PID tiene un tiempo de establecimiento de 5s y el método de Ziegler-Nichols, tiene el doble tiempo de establecimiento 10s

Capítulo 3

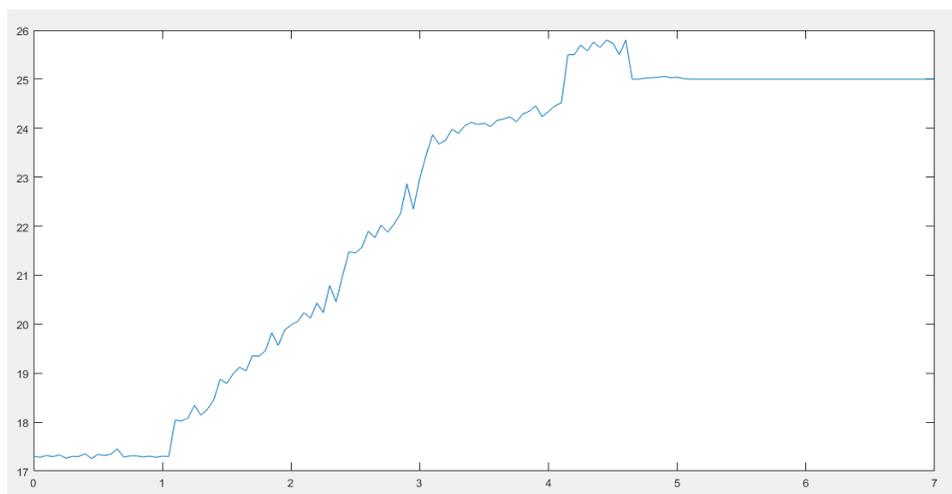
3. Resultados

Después la implementación e integración del sistema en su totalidad se procedió a realizar las siguientes pruebas de funcionamiento.

3.1 Respuesta del sistema de controlador PID

Iniciando por la prueba del sistema de control, para ello se activo el sistema a través del ingreso de un operario y se pudo comprobar, como se evidencia en la **Figura 3-1**, en ella se puede visualizar los datos obtenidos del sensor de flujo cuando el sistema está actuando con el controlador PID, se ve reflejado en la gráfica como este tiene un sobre impulso que va hasta un caudal de 26L/min y cuando llega a un tiempo de 5.10s el sistema se estabiliza, es decir el controlador está bien diseñado ya que el set point llega a 25L/min que fue el seleccionado en los cálculos hidráulicos, para proporcionar el nivel de aspersión indicado, y así obtener la máxima cobertura del desinfectante en el traje, antes del ingreso al galpón.

Figura 3-1 Respuesta del controlador PID de aspersión



Elaboración propia

Paso seguido se encontró el error entre la respuesta real del sistema de aspersión frente a la respuesta del sistema de control diseñado. Para esto se escogieron 141 datos tanto de la gráfica original como la que nos arroja el programa Matlab con la herramienta system identificación.

A continuación, se muestran alguno de los datos obtenidos

en la **tabla 3-1** datos obtenidos para hallar el error porcentual

#datos	porcentaje abertura electroválvula	tiempo(s)	datos reales	datos simulados
1	20	0,00	4,304	0
2	20	0,05	4,285	0,022
3	20	0,10	4,32	0,0768
4	20	0,15	4,295	0,162
5	20	0,20	4,333	0,28
6	20	0,25	4,266	0,406
21	60	1,00	4,304	3,6
22	60	1,10	5,043	4,09
22	60	1,15	5,021	4,36
22	60	1,20	5,087	4,89
22	60	1,25	5,342	5,12
22	60	1,30	5,142	5,36
138	60	6,85	12,234	12,6
139	60	6,90	12,499	12,6
140	60	6,95	12,531	12,6
141	60	7,00	12,621	12,6

Posteriormente se procedió a calcular el %error donde se tuvieron que sumar cada uno de los datos obtenidos de cada grafica para poder conseguir un solo valor tanto como de los datos reales como de los simulados.

$$datos\ reales = \frac{0.213}{0.8052s^2 + 1.795s + 1}$$

$$datos\ simulados = \frac{0.20929}{0.0000011299s^2 + 1.12990s + 1}$$

$$\%error = \left[\frac{datos\ simulados - datos\ reales}{datos\ reales} \right] * 100\%$$

$$\%error = \left[\frac{\frac{0.20929}{0.0000011299s^2 + 1.12990s + 1} - \frac{0.213}{0.8052s^2 + 1.795s + 1}}{0.213} \right] * 100\%$$

$$\%error = 1.43\%$$

ecuación (17).

Con dicho valor hallado se pudo determinar que la gráfica arrojada por el programa Matlab es muy parecida a la original y que la metodología para realizar el controlador PID fue la indicada.

En la **figura 3-2** se puede evidenciar que los datos obtenidos se metieron en forma de vectores para poder realizar su respuesta matemática, en donde los valores reales son llamados S, y los valores simulados Z de igual forma dicha grafica se puede apreciar en anexos.

3.2.1 Respuesta del sistema de control de aspersión, frente a perturbaciones

Para determinar si el sistema permanece estable se realiza procede ar ir a la electroválvula de grado en grado en grado a partir del 60% en adelante.

En la siguiente tabla se muestra el porcentaje abertura a la electroválvula, el tiempo de establecimiento y el set point del sistema.

Tabla 3-2 porcentaje abertura de la electroválvula, tiempo de establecimiento cuando abertura de la electroválvula con porcentaje mayor al 60%

Porcentaje abertura electroválvula	Tiempo(s)
60%	0.10
61%	0.20
62%	0.45
63%	0.70
64%	1.00
65%	1.30

66%	1.55
67%	1.85
68%	2.10
69%	2.35
70%	2.70

En donde se pudo determinar que el sistema después de 68% de abertura de la electroválvula se vuelve inestable, esto se puede visualizar en la **figura 3-3** la cual se puede apreciar en los anexos.

De igual manera el sistema también expuso para valores por de bajo del 20% de abertura de la electroválvula, en la siguiente **tabla 3-3** se puede evidenciar los datos arrojados para cuando el sistema están en estos valores.

Tabla 3-3 porcentaje abertura de la electroválvula, tiempo de establecimiento cuando abertura de la electroválvula con porcentaje menor al 20%

Porcentaje abertura electroválvula	Tiempo(s)
1%	0.20
2%	0.45
3%	0.70
4%	0.95
5%	1.20
6%	1.45
7%	1.70
8%	1.95
9%	2.20
10%	2.45
11%	2.75
12%	3.00
13%	3.25
14%	3.50
15%	3.75
16%	4.00

17%	4.25
18%	4.50
19%	4.75
20%	5.00

En donde se pudo determinar que el sistema antes de 20% de abertura de la electroválvula es estable, esto se puede visualizar en la **figura 3-4** la cual se puede apreciar en los anexos.

Se realizaron dos procedimientos para evaluación del funcionamiento del prototipo de la cabina de desinfección, el primer procedimiento se comprobó que el funcionamiento del sensor de movimiento para el accionamiento del sistema de aspersion al momento de la entrada y salida del operario fuera el óptimo, en el segundo procedimiento se comprobó el funcionamiento para el apoyo y la contribución en la desinfección de los operarios antes del ingreso a los galpones de la avícola, y así mitigar los riesgos biológicos. A continuación, se explicará cada procedimiento realizado.

3.2.2 Prueba de aspersion a través del colorante

una prueba con colorante de color verde sobre el traje del operario (ver **Figura 3-5**) después del paso por la cabina de desinfección, para conocer si los parámetros determinados en el sistema mecánico, hidráulico y electrónico fueron los correctos. Al hacer esta prueba se puede comprobar si el sistema de control y la aspersion es la adecuada.

Figura 3-5 Prueba de colorante sobre el traje del operario.



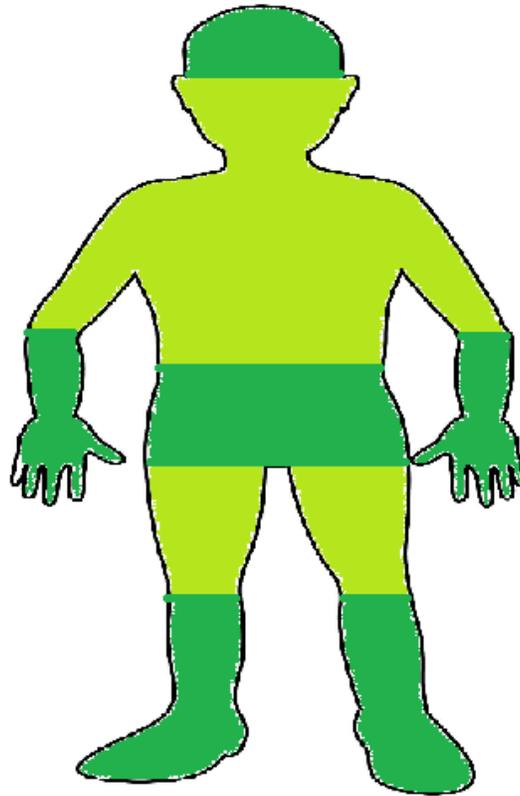
Elaboración propia.

al momento de realizar la prueba con el colorante se evidencio que en cuatro partes del traje ubo más concentración de sustancia, es decir por cómo están puestas las boquillas al momento de su aspersión el líquido llega con más frecuencia a ciertas partes del cuerpo, las cuales fueron cabeza, antebrazo, tronco y desde la pantorrilla hasta los pies.

En el documento de riesgo laborales (libraria.xunta.gal,2015) nos indica que hay tres partes esenciales las cuales se generan mayor contacto con las aves y con esto un riesgo biológico, en dicho documento está expuesto que son las manos, los pies y la cabeza.

Con la prueba realizada con el colorante se pudo determinar que el sistema de aspersión está diseñado acorde a suplir la necesidad de llegar a dichas partes que tiene más contacto con las aves. Como se puede evidencia en la **Figura 3-6**

Figura 3-6 partes del cuerpo donde llega con más frecuencia el líquido desinfectante



Elaboración propia

La segunda evaluación de la cabina de desinfección, se realizó en la avícola Granja La Manguita S.A.S, la cual consistió en un cultivo del traje antes (ver **Figura 3-7 (a)**) y después de ingresar a la cabina de desinfección realizado por una especialista en bacteriología (Londoño, 2021). Se utilizó un aplicador con algodón estéril el cual humedece en caldo de Lethen (que es un medio utilizado para el uso de pruebas microbiológicas), mediante una toma de muestras directamente sobre el traje del operario que se usan para ingresar al galpón, para posteriormente realizar un cultivo de bacterias identificadas antes y después de la desinfección, esto ayudara a determinar si el proceso de desinfección fue óptimo, al finalizar la toma de muestras, este caldo se vierte en tres placas de agar deshidratado y que se relacionan a continuación:

1. Agar para gérmenes comunes el cual es apropiado para crecimiento de bacterias Gram positivas.

2. Agar Sabouraud que ofrece nutrientes para crecimiento de hongos.

3. Agás McConkey para el crecimiento de bacterias de origen fecal o enterobacterias.

Una vez la persona pasa por la cámara de desinfección se procede a realizar el mismo procedimiento de siembra anterior (ver **Figura 3-7 (b)**), esto con el fin de comparar si hay disminución o no en el crecimiento de los diferentes microorganismos. Las bacterias se cuentan en Unidades Formadoras de Colonias (UFC) siendo esta la unidad de medida de comparación.

Es de aclarar que la cabina es de desinfección mas no de esterilización por lo tanto no se espera que los microorganismos desaparezcan en un 100% (Londoño, 2021).

Figura 3-7 Toma de muestras antes y después del paso por la cabina de desinfección.



(a)



(b)

Elaboración propia.

Los resultados obtenidos por el cultivo de bacterias se dividen en dos partes, siendo la toma de muestras antes y después de la desinfección del operario. A continuación, se explican los resultados de cada una.

- ✓ Muestra pre ingreso cabina de desinfección (ver **Figura 3-8 (a)**): como se especificó anteriormente se tomó una prueba y esta se vertió en tres placas de agar deshidratado, teniendo en cuenta lo anterior se obtuvieron tres resultados:
 - Para la primera placa de Agar con gérmenes se encontraron 100 UFC.

- Para la segunda placa de Agar Sabouraud se encontraron 18 UFC.
- Para la tercera placa de Agar McConkey se encontraron 8 UFC.
- ✓ Muestra post cabina de desinfección (ver **Figura 3-8 (b)**): para esta parte se visualiza el resultado de la desinfección después del paso del operario por la cabina de desinfección implementada, se obtienen tres resultados:
 - Para la primera placa de Agar para gérmenes se encontraron 3 UFC.
 - Para la segunda placa de Agar Sabouraud se encontraron 1 UFC.
 - Para la tercera placa de Agar McConkey no se encontró (negativo).

Figura 3-8 Resultados de muestras antes y después del paso por la cabina de desinfección.

RESULTADO DE LABORATORIO CLÍNICO

NI: 20190794

Paciente: PROYECTO DISEÑO CABINA DE DESINFECCION Fecha Reporte: 28/04/2021

Documento: MUESTRA PRE INGRESO CABINA DE DESINFECCION

Reactivante:

Cuarenta: PARTICULARES No Reporte: MNS0347

Examen	Resultado	Valores de Referencia
CULTIVO DE MICROORGANISMOS GRAM NEGATIVOS		
Método: PLACA DE AGAR PARA GERMINES COMUNES RECONSTITUIDA CON CALDO DE LETHEN		
Resultado:	108 UFC	
Tarea Muestra:	28/04/21 12:00:00 h.	Fecha Validación: 28/04/21 03:48:00 h.
CULTIVO PARA HONGOS		
Método: PLACA DE AGAR PARA HONGOS (SABOURAUD) RECONSTITUIDA CON CALDO DE LETHEN		
Resultado:	18 UFC	
Tarea Muestra:	28/04/21 12:00:00 h.	Fecha Validación: 28/04/21 03:48:00 h.
CULTIVO PARA MICROORGANISMOS ENTEROCOCALIS		
Método: PLACA DE AGAR PARA MICROORGANISMOS DE ORIGEN FECAL (MCCONKEY) RECONSTITUIDO CON CALDO DE LETHEN		
Resultado:	8 UFC	
Tarea Muestra:	28/04/21 12:00:00 h.	Fecha Validación: 28/04/21 03:48:00 h.

Liliana Londoño
LILIANA LONDOÑO
COORDINADORA LABORATORIO
MICROBIOLOGIA P-03

(a)

RESULTADO DE LABORATORIO CLÍNICO

NI: 20190792

Paciente: PROYECTO DISEÑO CABINA DE DESINFECCION Fecha Reporte: 28/04/2021

Documento: MUESTRA POST CABINA DE DESINFECCION

Reactivante:

Cuarenta: PARTICULARES No Reporte: MNS0348

Examen	Resultado	Valores de Referencia
CULTIVO DE MICROORGANISMOS GRAM NEGATIVOS		
Método: PLACA DE AGAR PARA GERMINES COMUNES RECONSTITUIDA CON CALDO DE LETHEN		
Resultado:	3 UFC	
Tarea Muestra:	28/04/21 12:00:00 h.	Fecha Validación: 28/04/21 03:48:00 h.
CULTIVO PARA HONGOS		
Método: PLACA DE AGAR PARA HONGOS (SABOURAUD) RECONSTITUIDA CON CALDO DE LETHEN		
Resultado:	1 UFC	
Tarea Muestra:	28/04/21 12:00:00 h.	Fecha Validación: 28/04/21 03:48:00 h.
CULTIVO PARA MICROORGANISMOS ENTEROCOCALIS		
Método: PLACA DE AGAR PARA MICROORGANISMOS DE ORIGEN FECAL (MCCONKEY) RECONSTITUIDO CON CALDO DE LETHEN		
Resultado:	NEGATIVO	
Tarea Muestra:	28/04/21 12:00:00 h.	Fecha Validación: 28/04/21 03:48:00 h.

Liliana Londoño
LILIANA LONDOÑO
COORDINADORA LABORATORIO
MICROBIOLOGIA P-03

(b)

Fuente: Resultados obtenidos del laboratorio Liliana Londoño (Londoño, 2021).

Tabla3-4 descripción de resultados de muestras de laboratorio

	CULTIVO ANTES DE DESINFECCION (UFC) UNIDADES FORMADORAS DE COLANIA	CULTIVO DESPUES DE DESINFECCION (UFC) UNIDADES FORMADORAS DE COLANIA
	CULTIVO DE MICROORGANISMOS GRAM NEGATIVOS 100 UFC	CULTIVO DE MICROORGANISMOS GRAM NEGATIVOS 3 UFC
	CULTIVO PARA HONGOS 18 UFC	CULTIVO PARA HONGOS 1 UFC
	CULTIVO DE MICROORGANISMOS HETERO FECALES 8 UFC	CULTIVO DE MICROORGANISMOS HETERO FECALES NEGATIVO
TOTAL	126 UFC	4 UFC
DESCRIPCION		
<p>En el proceso de la toma de pruebas que se analizó antes del ingreso del operario a la cabina de desinfección, se encontró un total de 126 UFC (UNIDADES FORMADORAS DE COLONIA), luego se hizo una siguiente prueba después de que el operario pasara por el proceso de desinfección, en el cual se demostró una reducción a 4 UFC.</p> <p>Dado lo anterior, se puede concluir que las unidades de formadoras de colonia se redujeron significativamente en un 3% dado que inicialmente se encontraron 126 UFC tomado este dato como un 100% inicial, con esto pudimos concluir que se tuvo un 97% de efectividad en el proceso de desinfección.</p>		

Capítulo 4

4. Conclusiones y Recomendaciones

4.1 Conclusiones

En el transcurso de la presente investigación posteriormente a la implementación y construcción de la cabina de desinfección, se obtuvieron las siguientes conclusiones.

- Con respecto al primer y segundo objetivo de la presente investigación, los parámetros de diseño y construcción de la cabina de desinfección fueron los siguientes como punto de partida un estudio realizado por guerrero(guerrero K,2020),(Indimex,2020),y (Ayala & zapata,2016) , cabe notar que fue necesario realizar un cuenta un sobredimensionamiento, para evitar el posible deterioro acelerado de la estructura de la cabina de desinfección, debido al paso del tiempo.
- El sistema de control del flujo diseñado fue el óptimo, para establecer el setpoint de 25 L, un tiempo de establecimiento 5.10s, y el presenta un error en porcentual de 1.43%
- El sistema es capaz de responder ante perturbaciones de aumento del flujo debido a la apertura de válvula por debajo del 20% el sistema es estable y por encima de los 60 %, se encontró que a 68% de apertura el sistema se vuelve inestable.
- Se concluye que la cabina de desinfección logra el objetivo de minimizar el riesgo biológico que tienen las aves al tener contacto con los operarios que ingresan a los galpones. Pues mediante un prueba de cultivo realizada al traje

de operarios después del proceso de desinfección obteniéndose una eficacia para la primera placa de Agar para gérmenes de un 97%, para la segunda placa de Agar Sabouraud un 94% y para la tercera placa de Agar McConkey un 100%.

4.2 Recomendaciones

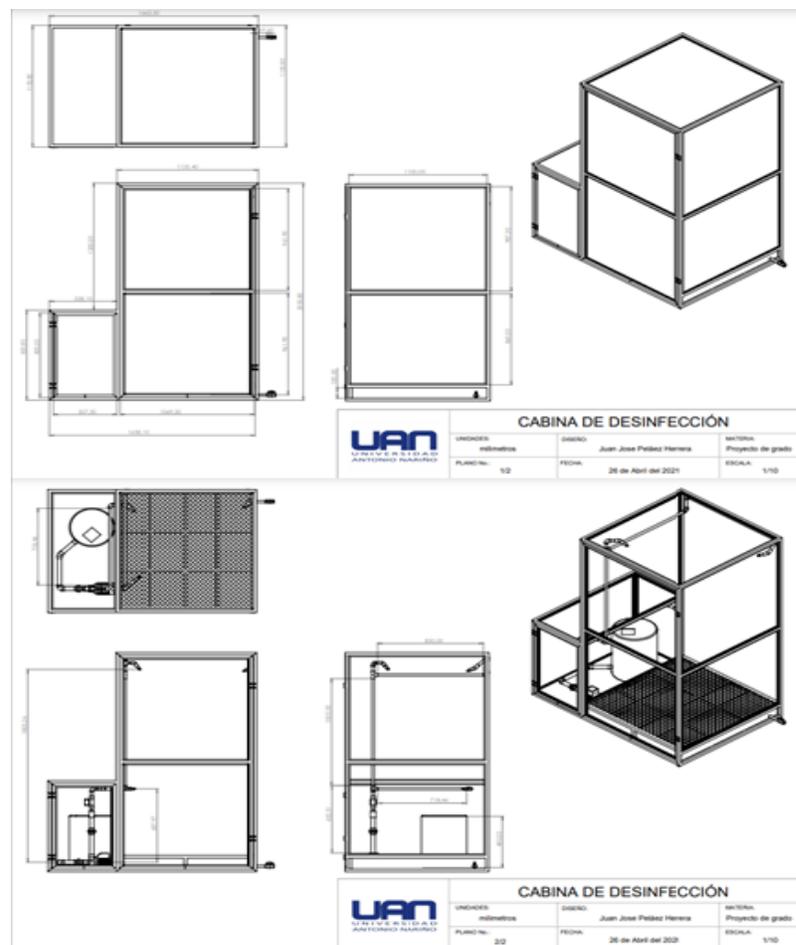
Las recomendaciones y trabajos futuros de la presente investigación son las siguientes:

- Se sugiere identificar el modo de uso de la cabina, con el fin de utilizar de forma adecuada los modos manual o controlador PID que se visualizan en la pantalla LCD.
- Se recomienda utilizar otros tipos de desinfectantes para poder comparar la eficiencia de este en el momento de la desinfección.
- Se sugiere implementar un detector de líquido para que este detecte cuando el nivel del líquido este bajo, con el fin de automatizar aún más la cabina de desinfección.

A. Planos 2D realizado en el programa SolidWorks.

Los planos se obtienen con el fin de observar detalladamente las uniones y las dimensiones de la cabina de desinfección diseñada. Como se visualiza en la **Figura (5-1)**, los planos nos ayudan a ubicar los elementos de la cabina de desinfección a la hora de la construcción de esta

Figura A Planos 2D realizado en el programa SolidWorks.



Elaboración propia.

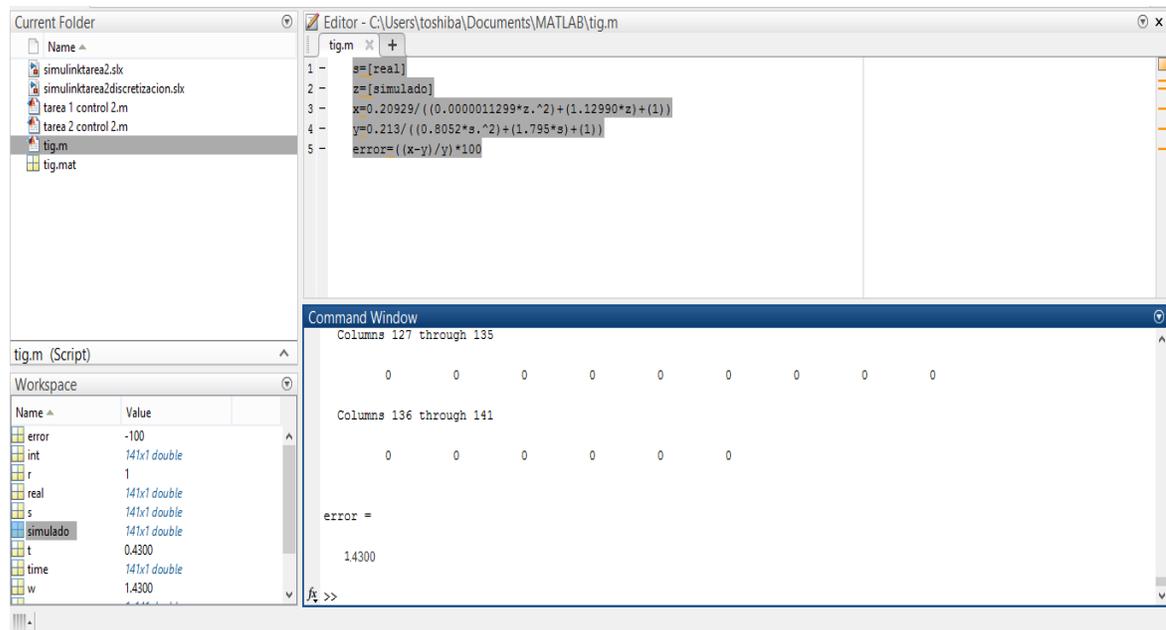
B. Renders 3D realizado en el programa SolidWorks.

Los renders de cada pieza realizado en el programa SolidWorks, los cuales permiten una visión realista, con profundidad y textura lo cual permite visualizar la cabina de desinfección a través de un modelo 3D, como se visualiza en la **Figura (5-2)**.

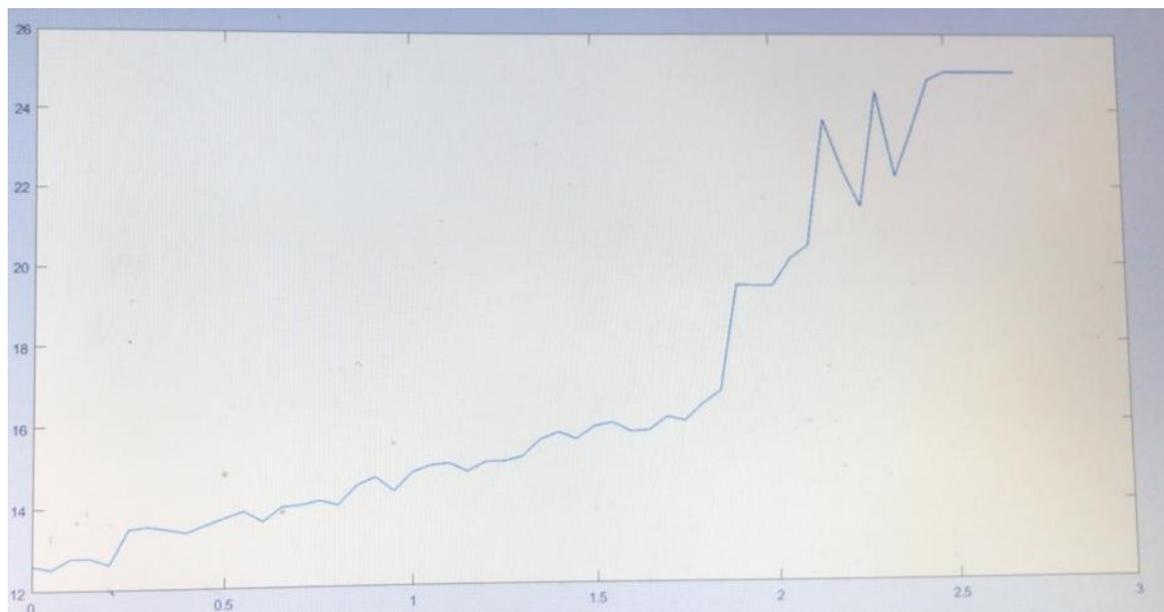
Figura B Renders de cada pieza de la cabina.



Elaboración propia.

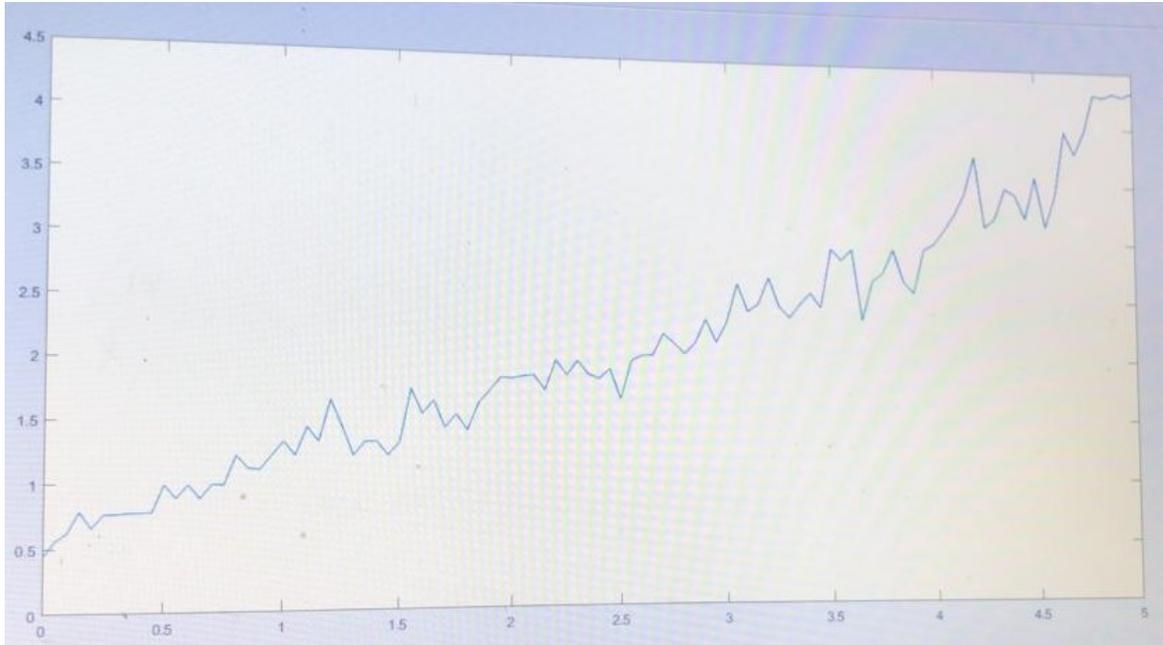
Figura 3-2 respuesta matemática error porcentual de la gráfica real y simulada

Elaboración propia

figura 3-3 respuesta de del sistema con abertura de electroválvula mayor al 60%

Elaboración propia

figura 3-4 respuesta de del sistema con abertura de electroválvula menor al 20%



Elaboración propia

A continuación, se presenta los costos de la elaboración e implementación de la cabina de desinfección

Tabla de costos

MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO(COP)
Tubería PVC Rde 13.5 ½"	6m	\$13.000
Tubería PVC Rde 13.5 1"	6m	\$39.000
Tubería cuadrada AISI 1020 Steel cold rolled	50m	\$1'400.000
Soldadura 6013 west arco de 1/8"	5kg	\$70.000
Bomba hidráulica pedrollo 0.5Hp-60Hz	1 unidad	\$300.000
Raspberry pi 2b+	1 unidad	\$160.000
Pantalla para raspberry	1 unidad	\$190.000
Cargador para raspberry	1 unidad	\$15.000

Memoria	1 unidad	\$30.000
Conector GPIO	1 unidad	\$20.000
Relé estado solido	1 unidad	\$50.000
Relé dos canales	1 unidad	\$15.000
Sensor PIR	1 unidad	\$10.000
Multitoma	1 unidad	\$30.000
Mouse	1 unidad	\$10.000
Teclado inalámbrico	1 unidad	\$26.000
Electroválvula	1 unidad	\$185.00
Sensor de flujo	1 unidad	\$66.000
Soldadura, cable, y conectores	\$50.000
Boquillas de aspersión	3 unidades	\$18.000
Maxo nomic60(150L)	2 unidades	\$350.000
	TOTAL	\$2'997.000

Elaboración propia

Bibliografía

- ASOVEN. (2020, November 24). ¿Qué es el PVC? Ventajas, fabricación e impacto ambiental. - ASOVEN. Retrieved April 1, 2021, from <https://www.asoven.com/pvc/que-es-el-pvc-ventajas-fabricacion-e-impacto-ambiental/>
- Encyclopædia Britannica, I. (2020, December). Ornament | architecture | Britannica. Retrieved April 1, 2021, from <https://www.britannica.com/technology/ornament>
- Farr, C. (2019). *Industria Alimentaria*. Retrieved from http://camfil.ee/sites/default/files/Food_process_segment_brochure_ES%5B1%5D.pdf
- Mandado, E., Acevedo, J., Silva, C., & Quiroga, J. (2009). *Automatas programables y sistemas de automatización*. (Instituto de Electrónica Aplicada, Ed.) (segunda). Madrid. Retrieved from <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=5jp3bforBB8C&oi=fnd&pg=PA1&dq=plc&ots=g2Bxf69IRf&sig=peHenlqeDtKTRrX6lURjOo0n6DM#v=onepage&q=plc&f=true>
- Rivera, D. E., Morari, M., & Skogestad, S. (1986). Internal model control: PID controller design. *Industrial & Engineering Chemistry Process Design and Development*, 25(1), 252–265. <https://doi.org/10.1021/i200032a041>
- Schmidt, R., Torres, E., Flores, C., & Torres, A. (2000). Riego tecnificado a muy baja presión por medio de bombas fotovoltaicas y estanques de acumulación. *Información Tecnológica*, 11, 11–18. Retrieved from https://books.google.com.co/books?id=-BkU46qN9vAC&pg=PA12&dq=bomba+sumergible&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjY_Oiz7s7vAhVQk1kKHb3eBysQ6AEwAHoECAAQAg#v=onepage&q=bomba+sumergible&f=true

- Upton, E., & Halfaeree, G. (2014). *Raspberry Pi User Guide - Eben Upton, Gareth Halfacree - Google Libros* (3rd ed.). Chichester, United Kingdom. Retrieved from https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=g-XhBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA123&dq=RASPBERRY+PI&ots=Emmw-BDZWs&sig=LbVicAbGMvee_Yqu6dZ8ypjT5Ms#v=onepage&q=RASPBERRY+PI&f=true
- VanGelder, K. (2020). *Fundamentals of Automotive Maintenance and Light Repair - Kirk VanGelder - Google Libros*. (Jones & Barlett Learning, Ed.) (Second). New York: Jones & Barlett Learning. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=aHyGDwAAQBAJ&pg=PA1210&dq=peripheral+pump&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwi8vM-A787vAhUnwVkkKHU9CDycQ6AEwAHoECAAQAg#v=onepage&q=peripheral+pump&f=false>
- Zhang, Q. (2018). *Basics of Hydraulic Systems, Second Edition - Qin Zhang - Google Libros*. (Taylor & Francis Group, Ed.) (second). Danvers: Taylor & Francis Group. Retrieved from https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=QTX3DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=types+of+hydraulic+systems&ots=qah3ozLDi0&sig=q_WQ-SDyT47bgBz1gntgqIMTfvM#v=onepage&q=types+of+hydraulic+systems&f=true
- Academy, K. (2021). *Khan Academy*. Retrieved 2021, from Las leyes del movimiento de Newton: <https://es.khanacademy.org/computing/computer-programming/programming-natural-simulations/programming-forces/a/newtons-laws-of-motion>
- Avicola, E. S. (15 12 2015). *Limpieza y desinfeccion*. Prevention Works.
- Ayala, J. E., & Zapata, S. E. (2016). *DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN PARA UNA CABINA DE SEGURIDAD BIOLÓGICA*. INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO.
- Ayala, S. E. (2016). *Diseño de automatizacion para una cabina de seguridad biologica*. [En línea]. Available: https://repositorio.itm.edu.co/bitstream/handle/20.500.12622/2097/Rep_Itm_pre_Zapata.pdf?

- Bernoulli, D. (n.d.). *Hydrodynamica*.
<https://books.google.com.co/books?id=7zEVA AAAQAAJ&printsec=frontcover&dq=hydrodynamica&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwilul-ZI-jvAhURFFkFHx37D1oQ6AEwBH0ECAEQAg#v=onepage&q=hydrodynamica&f=false>.
- Betelgeux. (2021). *BETELGEUX CHRISTEYNS FOOD HYGIENE*. Retrieved from Available: <https://www.betelgeux.es/productos/higiene-en-explotaciones-ganaderas/desinfectante-ganadero-ganaderia-bactericida-fungicida-virucida-dectocide-sb7/>
- Bosch. (2020). *Bosch Security Systems*. Retrieved from Detectores de movimiento por infrarrojos pasivos Professional Series con antiemascaramiento: https://resources-boschsecurity-cdn.azureedge.net/public/documents/ISC_PPR1_WA16x_PIR_Data_sheet_esES_2600556939.pdf
- Budynas R, K. J. (n.d.). *Diseño de ingeniería mecánica*. Mc Graw Hill.
- Cadnum, D. F. (2020). *Effectiveness of Ultraviolet-C Light and a High-Level Disinfection Cabinet for Decontamination of N95 Respirators*. pp. 52-67: Pathogens and Immunity.
- Cervera M, B. E. (2003). *Grafica de deformación unitaria*. In *Mecánica de estructuras, resistencia de materiales* (p. pp. 26). Barcelona: Ediciones UPC.
- Colliau A.M, P. D. (1977). *Coeficiente de Poisson y Modulos de Elasticidad*. In *Propiedades Mecánicas y Térmicas de los materiales* (p. pp. 48). Barcelona, España: Reverte,s.a.
- Conagua. (2002). *Manual para la elaboración y revisión de proyectos ejecutivos de sistemas de riego parcelario*. . Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Operación Gerencia de Distritos y Unidades de Riego. México: Comisión Nacional del Agua.
- Connor, N. (2019). *Volumen - Física*. Retrieved 2021, from Thermal Engineering : <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-volumen-fisica-definicion/>
- Dipac. (2021). *TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO*. Retrieved from Dipac productos de acero: <https://www.dipacmanta.com/tubo-estructural-cuadrado-negro>
- Durand A, I. A. (2014). *Evaluación de ecuaciones de factor de fricción explícito para tuberías*. *ScienceDirect*, pp. 128-134.
- Federico, F, J. (2009). *Manual de Normas Básicas de Bioseguridad de una Granja Avícola*. pp. 1-44: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Felix Lages, D. (1852). *Area*. In *Sistema legal de Medidas y pesas* (p. pp. 52).

-
- FENAVI. (2019). *Bioseguridad en la industria Avicola*. FENAVI, pp. 1-40.
- Flechas R.A. (2012). EFECTO DEL USO DE LA ECUACIÓN DE DARCY-WEISBACH VS LA ECUACIÓN DE HAZEN-WILLIAMS EN EL DISEÑO DE REDES MATRICES. *XX SEMINARIO NACIONAL DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA*. BARRANQUILLA, COLOMBIA.
- Fleinser, A. (2012). *LA REFERENCIA DEL TÉRMINO DE MAGNITUD FÍSICA "MASA"*. Retrieved 2020, from Páginas de Filosofía, Año XIII, N° 16), pp. 5-25: file:///C:/Users/Acer/Desktop/MARIA%20UNIVERSIDAD/TIG%20JUAN/Dialnet-LaReferenciaDelTerminoDeMagnitudFisicaMasa-5037664.pdf
- Francois. (2016). Raspberry Pi . In *Raspberry Pi 2* (p. pp. 116). Barcelona: eni ediciones .
- Guerrero-Burgos, K. L., Albarracín-Zambrano, L. O., & Ruiz, D. V. (2020). *Diseño de un túnel de desinfección automatizada para prevenir COVID-19 en UNIANDES, Quevedo*. Venezuela: Revista Arbitrada Interdisciplinaria KOINONIA.
- Heras, S. d. (2018). Fluidos, bombas e instalaciones hidraulicas. UPCGRAU.
- Hibbeler R.C. (2006). Esfuerzo permisible. In *Mecanica de materiales* (pp. pp. 49-50). Mexico: Pearson Prentice Hall, Sexta edicion .
- Hierros Neiva. (2021). *Lamina, Hierro, Tubos*. Retrieved from <http://www.hierrosneiva.com/>
- Indimex. (2020). *CABINA DE DESINFECCIÓN BIOLÓGICA. Para prevención contra el COVID-19*. Retrieved from <https://jimdo-storage.global.ssl.fastly.net/file/a32db613-fab7-4e09-8104-e8a8fe26abd2/Cot.%20Indimex.pdf>
- J.W. Kane, M. S. (2006). Física. Amherst, Massachusetts: REVERTE, Segunda Edicion.
- Kresso. (2021). *Aquaquimi*. Retrieved from Available: http://www.aquaquimi.com/Paginas/productos%20_limpieza/cat_desinfec/kresso.html.
- Londoño, S. L. (2021, 04 26). Evaluacion de la cabina de desinfeccion. *Cultivo de bacteria*. Neiva, Huila, Colombia: Consultorio 402 Edificio Las Ceibas Tel: 8643838 Ext 4 y 402.
- Matmatch. (2021). Retrieved 2021, from <https://matmatch.com/es/materials/smcs007-aisi-1020-cold-rolled>
- Maxo Nomic60. (2020). Retrieved Medellin, Antioquia, from <https://theworkmart.com/wp-content/uploads/2020/07/ficha-tecnica-desinfectante-maxo-suministros.pdf>

- Maxo Nomic60. (2021). *Ficha tecnica del desinfectante Maxo Nomic 60*. Retrieved Medellin, Antioquia, from Departamento de Calidad /Suministros Integrales SAS: <https://chicanoticias.com/2020/07/13/maxo-no-mic-60-maxima-limpieza-en-todas-las-superficies-para-protegerse-del-covid-19/>
- Minsalud. (2021). *Ministerio de salud*. Retrieved 2021, from Evaluate su peso : <https://www.minsalud.gov.co/salud/Paginas/Evalue-su-peso.aspx>
- Mott L.R. (2006). Ecuacion general de la energia. In *Mecanica de fluidos* (p. pp.203). Mexico: Pearson educacion, sexta edicion.
- Mott, R. (2006). *Mecanica de fluidos . Pearson educacion, sexta edicion* , pp. 46-47.
- NCD.RisC. (2019). *HEIGT*. Retrieved 2021, from <https://www.ncdrisc.org/height-mean-ranking.html>
- Nisbett, R. G. (2011). *Diseño en ingenieria mecanica de Shigley*. Mexico: MC Graw Hill, Novena edicion .
- Ospina J.S. (2012). *El sitio Avicola*. Retrieved from Elementos esenciales de la bioseguridad: 3 - Desinfección: <https://www.elsitioavicola.com/articulos/2153/elementos-esenciales-de-la-bioseguridad-3-desinfeccion/>
- PAVCO. (2020). *Manual tecnico Turbosistemas presion PVC*. Colombia: pp.7.
- Pedrollo. (2020). CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES. *Electrobombas con rodete periférico* , pp. 2.
- Ricaurte, G. (2005). Bioseguridad en granjas avícolas. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, vol. VI, num. 2, pp. 1-17.
- Rios L, R. E. (2007). *ANÁLISIS Y DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE SELECCIÓN RÁPIDA DE FACTORES DE SEGURIDAD, PARA DISEÑO DE ELEMENTOS MECÁNICOS*. . Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701.
- Rivas, G. A. (2012). *Diseño e implementacion de un sistema de gestion de bioseguridad, como complemento del sistema de gestion de inocuidad de los alimentos, basados en la norma ISO 22000:2005, para la produccion y comercializacion de huevos inocuos*. Guatemala: UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA.
- Romero, E. (2021). *MICROEMPREDIMIENTOS*. [En línea]. Available: http://www.agrobit.com/Documentos/I_1_1_avicultu/262_mi000003av%5B1%5D.htm. [Último acceso: 12 03 2021].
- Rondizzoni. (2020). *Getec*. Retrieved from Reles estado solido: <http://www.getec.cl/inicio/info/Reles.pdf>

-
- SALUD, O. P. (2020). *CABINAS DE SEDURIDAD BIOLOGICA*. Washington, D.C.: OPS, pp. pp.11-85, 2020. : Biblioteca Sede OPS.
- Sánchez, C. (2020). Cabina de desinfección de personas para reducir el covid19 en la comunidad. *UNIDAD DE ANÁLISIS Y GENERACIÓN DE EVIDENCIAS EN SALUD PÚBLICA*, pp. 1-21.
- social, M. d. (2013). *Resolucion numero 00000242 de 2013*. pp. 1-48.
- Soojung L, E. R. (2009). V disinfection system for cabin air. *Advances in Space Research*, pp. 942-948, Vol 44, .
- TeeJet. (2021). *Turbo TeeJet Boquillas Granangulares de Chorro Plano*. Retrieved from TeeJet 110-02:
https://www.teejet.com/CMSImages/TEEJET_ES/documents/catalogs/broadcast_nozzles-es.pdf
- Trespalacios, E. (03 03 2021). Precedimientos de Bioseguridad en la empresa Avicola La Dominga S.A.S. Neiva.
- Vanodine. (2021). *Zoetis* . Retrieved from Available:
<https://www.zoetis.co.cr/products/agricola/vanodine-fam.aspx>.
- Virkon. (2021). *Zotal laboratorios*. Retrieved from Available:
<https://www.zotal.com/productos/desinfectantes/virkon-s/>
- Vozmilov., R. Y. (2016). *The usage of ozone in agriculture technological processes*. pp. 1-4: 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM).
- S. L. Ricaurte G(2005), «Bioseguridad en granjas avícolas,» REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria, vol. VI, nº num. 2, pp. pp. 1-17, 2005.
- O. P. D. L. SALUD(2020), «CABINAS DE SEDURIDAD BIOLOGICA,» *Biblioteca Sede OPS- Washington, D.C.: OPS*, pp. pp.11-85, 2020.
- D. Z. L. D. Ñ. P. Dr. Sánchez Cesar(2020), «Cabina de desinfección de personas para reducir el covid19 en la comunidad,» *UNIDAD DE ANÁLISIS Y GENERACIÓN DE EVIDENCIAS EN SALUD PÚBLICA*, pp.pp. 1-21, 2020.
- R. E. I. Lim S(2009), «UV disinfection system for cabin air,» *ELSEVIER*, pp. Vol. 44, pp. 942-948, 2009.
- G. A. S. Rivas(2012), «Diseno e implementacion de un sistema de gestion de bioseguridad, como complemento del sistema de gestion de inocuidad de los alimentos, basados en la

norma ISO 22000:2005, para la producción y comercialización de huevos inocuos,» 05 2012. [En línea]. Available: http://www.biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_3273.pdf.

R. Y. I. a. D. V. A. A. G. Vozmilov(2016), «The usage of ozone in agriculture technological processes,» *2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*, pp. pp. 1-4, 2016.

L. O. A.-Z. D. V. P.-R. Kevin Lester Guerrero-Burgos(2020), «Diseño de un túnel de desinfección automatizada para prevenir COVID-19 en UNIANDES, Quevedo,» *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, vol. Vol 2, nº Num 5, 2020.

https://libraria.xunta.gal/sites/default/files/downloads/publicacion/2015_200-15_15-00655_-_prevencion_de_riesgos_laborales_en_granjas_avicolas._os_atende_do_issga._folleto.pdf