

Diseño y Construcción de Una Cámara de Envejecimiento Acelerado Para Materiales Metálicos
y No Metálicos Para Uso en El Proyecto FNTC-646-2023 FONTUR - UIS

Cristian Alexander Velosa Moncada e Isaac Antonio Restrepo Lizcano

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Mecánico

Director

Alberto David Pertuz Comas

Doctor en Ingeniería Mecánica

Codirector

David Alfredo Fuentes Diaz

Doctor en Tecnología Energética

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2026

Dedicatoria

A mi madre Flor, mi padre Diego y mis queridos hermanos Luis y Diego (Q.E.P.D), quienes son mi mayor motivo para seguir luchando por mis sueños, incluso en los días en los que ni siquiera quiero levantarme. Por Dios y por ellos pude completar esta importante etapa de mi vida.

A Enya por su amor e incondicionalidad.

A mis queridas mascotas Lana y Mia, pero en especial a Tobi y Bufi, que, aunque ya no estén, siempre los llevo presente en mis pensamientos.

Cristian Alexander Velosa Moncada

Dedico este logro a todas las personas que me han acompañado en el camino, porque cada paso que doy es el reflejo de su esfuerzo, dedicación y amor,

En especial a Emperatriz, David, Dilia y Paula, quienes conforman mi hogar y son mi mayor motivación.

A mi mascota Vicky, quien ha sido mi mayor compañía, estando a mi lado en todo momento y siendo mi refugio. Gracias, Vicky.

Isaac Antonio Restrepo Lizcano

Agradecimientos

Le doy gracias a Dios por nunca soltar mi mano y siempre mostrarme el camino, a las ánimas benditas y a Diego Fernando (Q.E.P.D) por siempre darme su favor, a Isaac por su amistad y compañerismo durante el proyecto y carrera, a la UIS por formarme como ingeniero y como persona, a mis compañeros, amigos y familiares por los buenos momentos compartidos.

Cristian Alexander Velosa Moncada

A Dios, a mis padres Emperatriz y Alirio, a mi hermano y a mi tía Dilia, por su apoyo incondicional, su confianza y por acompañarme en cada etapa de este proceso. A todos los familiares y amigos que, de una u otra forma, han estado presentes y han contribuido con su ánimo y compañía al cumplimiento de esta meta, A mi amigo y compañero Cristian, por su dedicación y compromiso durante el desarrollo de este proyecto.

Y a la Universidad Industrial de Santander (UIS), por brindarme la formación académica, profesional y ética que me ha contribuido a mi crecimiento personal.

Isaac Antonio Restrepo Lizcano

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	15
1. Planteamiento del problema.....	16
1.1 Justificación	17
1.2 Objetivos.....	18
1.2.1 Objetivo General.....	18
1.2.2 Objetivos Específicos.....	18
2. Marco teórico	19
2.1 Intemperismo	19
2.2 Corrosión.....	20
2.2.1 Tipos de Corrosión.....	20
2.2.2 Tipos de Ensayos de Corrosión.....	22
2.3 Envejecimiento Artificial.....	22
2.4 Envejecimiento Artificial Acelerado	22
2.5 Cámara de Envejecimiento Acelerado.....	23
2.6 Tipos de Cámaras de Envejecimiento Acelerado	23
3. Diseño Conceptual	26
3.1 Análisis de Requerimientos	26
3.2 Planteamiento de Alternativas.	31
3.3 Selección de Alternativas.....	32
4. Diseño a Detalle y Construcción del Equipo	32
4.1 Diseño a detalle.....	33

4.1.1	Cuerpo de la Cámara UV	37
4.1.2	Sistema de calefacción de sección UV	41
4.2	Construcción del Equipo UV	45
4.2.1	Boquilla Atomizadora de Agua Sección UV	45
4.2.2	Aislante Térmico de La Sección UV	46
4.2.3	Lámparas de Radiación UV	46
4.2.4	Bomba Eléctrica Centrifuga.....	47
4.2.5	Resistencia Calentadora de Aire	48
4.2.6	Resistencias de Tanques de Agua.....	48
4.2.7	Turbina de Aire	49
4.2.8	Sensores de Temperatura	50
4.2.9	Ensamblaje de Cámara UV.....	51
4.2.10	Sistema de Aspersión.....	55
4.2.11	Sistema de aire comprimido.....	61
4.2.12	Electroválvula	63
4.2.13	Tanque humidificador.....	63
4.2.14	Resistencia eléctrica- Tanque humidificador.....	65
4.2.15	Sensor de Temperatura- Tanque humidificador	66
4.2.16	Estructura de la cámara.....	67
4.2.17	Boquilla.....	68
4.2.18	Sensor de humedad- Cámara	69
4.2.19	Sensor de temperatura-Cámara.....	70
4.2.20	Resistencia eléctrica- Cámara.....	71

4.2.21	Bomba peristáltica	71
4.2.22	Tanque de solución	72
4.2.23	Torre de niebla	73
4.2.24	Porta muestras	74
4.2.25	Ensamble de la cámara salina	75
4.2.26	Sistema Eléctrico y Tableros de Control.	82
5.	Validación de Funcionamiento del Equipo.....	85
6.	Costo del Proyecto	91
7.	Conclusiones	92
8.	Recomendaciones	94
	Referencias Bibliográficas	96
	Apéndices	99

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Subsistemas de cámara de envejecimiento acelerado.....	28
Tabla 2. Calificaciones de matriz QFD.....	29
Tabla 3. Matriz QFD de subsistema de control.....	29
Tabla 4. Matriz QFD de subsistema de radiación UV.....	29
Tabla 5. Matriz QFD de subsistema de niebla salina.....	30
Tabla 6. Matriz QFD general.....	30
Tabla 7. Matriz PUGH.....	32
Tabla 8. Tabla de requerimientos y componentes lámpara UV.....	33
Tabla 9. Tabla de requerimientos y componentes para el control.....	33
Tabla 10. Tabla de requerimientos de materiales, número de probetas y otras especificaciones.	34
Tabla 11. Requerimientos de componentes cámara salina.....	35
Tabla 12. Requerimiento de control.....	36
Tabla 13. Elementos principales de sección UV.....	36
Tabla 14. Datos de transferencia de calor.....	42
Tabla 15. Constantes de energía del sistema.....	44
Tabla 16. Elementos principales sección salina.....	60
Tabla 17. Ciclos de funcionamiento de compresores.....	77
Tabla 18. Validación de parámetros exigidos en prueba de niebla salina.....	85
Tabla 19. Validación de parámetros exigidos en prueba de radiación.....	89
Tabla 20. Valores de temperatura para el sistema concentrado.....	153
Tabla 21. Datos para calcular variable b.....	154

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Cámara de niebla salina.....	23
Figura 2. Cámara de envejecimiento acelerado UV.	24
Figura 3. Cámara de radiación solar.	24
Figura 4. Cámara de niebla.	25
Figura 5. Vista isométrica cuerpo sección UV.	37
Figura 6. Vista frontal cuerpo interno sección UV.....	38
Figura 7. Vista superior cuerpo sección UV.....	39
Figura 8. Triángulo dimensiones de sección UV.....	39
Figura 9. Triángulo Rectángulo Dimensiones de Sección UV.....	40
Figura 10. Esquema de resistencia.....	41
Figura 11. Boquillas atomizadoras.	45
Figura 12. Rollo de fibra de vidrio.....	46
Figura 13. Lámparas de radiación UV.....	47
Figura 14. Bomba centrífuga.	47
Figura 15. Resistencia calentadora de aire.....	48
Figura 16. Resistencia calentadora de agua.	49
Figura 17. Turbina de aire.....	49
Figura 18. Sensores de temperatura.	50
Figura 19. Vistas isométrica y superior de la estructura UV.....	51
Figura 20. Vistas frontal y trasera de la estructura UV.....	51
Figura 21. Ducto de calefacción.	52

Figura 22. Turbina y resistencia de aire instaladas.	52
Figura 23. Puerta sección UV.	53
Figura 24. Tapa de cabina UV.	53
Figura 25. Aislamiento de cabina UV.	54
Figura 26. Instalación de aspersores y lámparas.	55
Figura 27. Tanque de almacenamiento de agua.	55
Figura 28. Acople de bomba, tanques, subsistema de bypass y aislamiento de tanques.	56
Figura 29. Orificio de venteo.	57
Figura 30. Instalación de resistencia.	57
Figura 31. Instalación de sensores de nivel.	58
Figura 32. Adecuación se sensores de temperatura.	58
Figura 33. Válvula antirretorno y solenoides para el paso de agua.	59
Figura 34. Hermetizado y acople de rejilla de desagüe y porta probetas.	59
Figura 35. Cabina, mesa y sistema de aspersion.	60
Figura 36. Compresor I.O. Tools.	61
Figura 37. Compresor Ranger Pro.	62
Figura 38. Filtro Pnucube.	62
Figura 39. Electroválvulas SPK.	63
Figura 40. Tanque humidificador.	64
Figura 41. Resistencia de tanque humidificador.	65
Figura 42. Sensor de temperatura.	66
Figura 43. Estructura de cámara salina.	67
Figura 44. Tapa de acrílico.	68

Figura 45. Boquilla aire-agua.	69
Figura 46. Sensor de temperatura.	70
Figura 47. Resistencia eléctrica cámara salina.	71
Figura 48. Bomba peristáltica.	72
Figura 49. Tanque de solución.	72
Figura 50. Torre de niebla salina.	73
Figura 51. Porta probetas cámara salina.	74
Figura 52. Ensamble tapa acrílica.	76
Figura 53. Estructura principal cámara salina.	76
Figura 54. Compresores en paralelo.	78
Figura 55. Instalación filtro de aire.	78
Figura 56. Silenciador.	79
Figura 57. Tanque humidificador.	79
Figura 58. Torre de niebla.	80
Figura 59. Acople de bomba peristáltica en sistema de suministro.	81
Figura 60. Botones de Encendido, apagado y emergencia.	82
Figura 61. Pirómetros de control sección UV.	83
Figura 62. Temporizadores sección UV.	83
Figura 63. Pirómetros y temporizador de sección salina.	84
Figura 64. Tableros de control UV y sección salina.	84
Figura 65. Validación de humedad y presión.	86
Figura 66. Validación de temperaturas en prueba salina y PH.	86
Figura 67. Validación de caudal recolectado.	86

Figura 68. Probetas sin recubrimiento después del ensayo de niebla salina.....	87
Figura 69. Probetas sin recubrimiento después de limpieza de corrosión.	87
Figura 70. Probetas con recubrimiento después de ensayo de niebla salina.....	88
Figura 71. Probetas con recubrimiento después de limpieza de corrosión.	88
Figura 72. Validación temperatura de fase de aspersion y fase UV.	90
Figura 73. Validación radiación UV.....	90
Figura 74. Validación fase de aspersion.	90
Figura 75. Probetas con recubrimiento después de ensayo de radiación UV.	91
Figura 76. Costos del proyecto	92

Lista de Apéndices

	pág.
Apéndice A. Especificaciones para ensayos de envejecimiento acelerado por radiación UV.	99
Apéndice B. Especificaciones para ensayo de corrosión por radiación UV en recubrimientos. ..	99
Apéndice C. Alternativa de diseño 1.	100
Apéndice D. Alternativa de diseño 2.	100
Apéndice E. Alternativa de diseño 3.	101
Apéndice F. Vista isométrica alternativa de diseño 2.	102
Apéndice G. Planos a detalle de sección UV.	102
Apéndice H. Cálculo de sistema de calefacción.	129
Apéndice I. Manual de uso de la máquina.	135
Apéndice J. Manual de mantenimiento.	150
Apéndice K. Tiempo de calentamiento de material interno sección UV.	153
Apéndice L. Datos técnicos.	155

Resumen

Título: Diseño y Construcción de Una Cámara de Envejecimiento Acelerado Para Materiales Metálicos y No Metálicos Para Uso en El Proyecto FNTC-646-2023 FONTUR - UIS*

Autor: Isaac Antonio Restrepo Lizcano y Cristian Alexander Velosa Moncada**

Palabras Clave: Materiales, cámara de envejecimiento acelerado, diseño, construcción, radiación UV, niebla salina, corrosión.

Descripción: La Universidad Industrial de Santander está llevando a cabo el contrato FNTC 646-2023 FONTUR –UIS que comprende la construcción y puesta en marcha de 88 embarcaderos flotantes fluviales, como parte de este contrato, una de las actividades correspondientes es el diseño y construcción de una cámara de envejecimiento acelerado que permita realizar ensayos de corrosión por radiación UV y niebla salina en los materiales y recubrimientos que serán utilizados en los embarcaderos, además de seguir las normativas ASTM (American Society for Testing and Materials) establecidas para dichos ensayos de corrosión.

Con este objetivo, para el proyecto de grado se diseñó y construyó una cámara de envejecimiento acelerado capaz de ejecutar los ensayos mencionados previamente, los cuales permiten identificar los materiales adecuados considerando las condiciones climáticas exigidas para los embarcaderos y normativas establecidas para los ensayos.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Ingeniería Mecánica. Director: Alberto David Pertuz Comas. Doctor en Ingeniería Mecánica. Codirector: David Alfredo Fuentes Diaz. Doctor en Tecnología Energética.

Abstract

Title: Diseño y Construcción de Una Cámara de Envejecimiento Acelerado Para Materiales Metálicos y No Metálicos Para Uso en El Proyecto FNTC-646-2023 FONTUR - UIS *

Author(s): Isaac Antonio Restrepo Lizcano y Cristian Alexander Velosa Moncada **

Key Words: Materials, accelerated aging chamber, design, construction, UV radiation, salt fog, corrosión.

Description: The Universidad Industrial de Santander is currently executing Contract FNTC 646-2023 FONTUR–UIS, which encompasses the construction and commissioning of 88 floating river piers. As part of this contract, a key activity involves the design and construction of an accelerated aging chamber intended to perform corrosion tests via UV radiation and salt spray on the materials and coatings to be used in the piers, in compliance with the ASTM (American Society for Testing and Materials) standards established for such corrosion assays.

Consequently, for this graduation project, an accelerated aging chamber capable of executing the aforementioned tests was designed and constructed. These tests allow for the identification of suitable materials, taking into account both the climatic conditions required for the piers and the regulatory standards set for the testing procedures.

* Degree Work

**Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Ingeniería Mecánica. Director: Alberto David Pertuz Comas. Doctor en Ingeniería Mecánica. Codirector: David Alfredo Fuentes Diaz. Doctor en Tecnología Energética.

Introducción

Todos conocemos la estatua de la libertad ubicada en New York, aquella imponente obra maestra de la que cuando se pregunta por su color, comúnmente se responde que es de un color verdoso, se piensa que esto puede ser un tipo de recubrimiento que la protege, pero en realidad no es así, aquel color verdoso se debe al óxido que está en las láminas de bronce de las cuales está cubierta la estatua. La corrosión generada se debe a la constante exposición del monumento a las condiciones climáticas, la corrosión se entiende como el proceso químico en el cual un material, particularmente un metal, pasa de un estado íntegro elemental a un estado que forma parte del óxido lo que es semejante a decir que los materiales se “corroen” (Vázquez, 2014).

De los problemas que pueden surgir en plantas a nivel industrial, el proceso de corrosión es uno de los problemas que más gravedad puede causar, una falla de planta debido a la corrosión puede terminar el detenimiento parcial o total de la planta implicando en ello costos elevados de mantenimiento, prevención y pérdidas en producción, además, de los riesgos laborales que se podrían presentar, debido a esta problemática es necesario realizar estudios y buscar alternativas para el control y prevención de la corrosión ya que en ciertos casos en evaluación de proyectos no se toma en cuenta los procesos de mantenimiento sobre los materiales especialmente materiales metálicos desconociendo los riesgos que genera la corrosión.(Vazquez, 2014). Debido a la problemática planteada anteriormente es necesario realizar ensayos que permitan evaluar propiedades de diferentes elementos frente a la corrosión, los aspectos principales son el material y el medio (León & Lorente, 2004).

Existen dos formas básicas de realizar ensayos las cuales son creando las condiciones ambientales y climáticas en el laboratorio y realizar los ensayos en el propio ambiente, en ambos

casos se operan probetas y la preparación de estas influyen en los resultados. En los ensayos de medio natural denominados ensayos de larga duración , sirven como un punto de partida para encontrar una relación entre ensayos de laboratorio y ensayos naturales lo cual ayudan a encontrar una similitud en los resultados de ambos ensayos, una de las mayores desventajas se debe a la larga duración de los ensayos naturales, en el ámbito industrial sería contraproducente ya que se trabaja sobre el tiempo y el dinero, por otro lado, los ensayos de laboratorio o envejecimiento acelerado no replican de una manera exacta los resultados en comparación con el método natural, pero las diferencias en exactitud suelen ser pocas o nulas, las ventajas sobre este tipo de método de envejecimiento acelerado el cual permite simular cualquier tipo de condición climática ya sea tropical, húmeda, industrial, etc. Esto permite realizar el proceso de oxidación o corrosión de una manera más rápida entregando en algunos días como máximo resultados que tomarían años con la prueba de largo plazo. (León & Lorente, 2004).

Las cámaras de envejecimiento acelerado son dispositivos que permiten simular distintas condiciones o ambientes climáticos naturales y artificiales durante varios ciclos para evaluar diferentes tipos de materiales con el fin de encontrar características y comportamientos de los materiales. (Flores et al., 2021). La cámara permite el control de parámetros como temperatura, radiación solar y condiciones de salinidad, el envejecimiento es causado por la frecuente exposición de los materiales. (Espinosa, 2007).

1. Planteamiento del problema.

Los ensayos de envejecimiento acelerado permiten realizar degradación de manera rápida tanto en materiales como en productos terminados con el fin de observar el comportamiento y

fiabilidad de estos elementos frente a diferentes condiciones ambientales como salinidad y exposición UV (Cabezas & Mejía, 2018). Para realizar los ensayos es necesario una cámara de envejecimiento acelerado que permite simular las condiciones climáticas artificiales en las que los materiales se exponen durante diferentes ciclos en el laboratorio (Cabezas & Mejía, 2018).

La Universidad Industrial de Santander se encuentra ejecutando el contrato FNTC 646-2023 FONTUR – UIS para la realización de la interventoría de la fabricación, suministro, transporte y puesta en funcionamiento de 88 embarcaderos flotantes fluviales. Dentro de las actividades de interventoría se tiene el seguimiento al proceso de fabricación en donde se realizarán pruebas, entre otras, de envejecimiento de las pinturas y materiales de los embarcaderos. Para tal fin la escuela de ingeniería mecánica diseñará y construirá una cámara de envejecimiento que permita simular diferentes condiciones ambientales a la que estarán expuestos los materiales.

1.1 Justificación

Para cumplir una de las actividades de interventoría que está llevando a cabo la Universidad Industrial de Santander en el contrato FNTC 646-2023 FONTUR – UIS el cual es la construcción y puesta en marcha de embarcaderos flotantes fluviales, es necesaria una cámara de envejecimiento acelerado, el objetivo de la cámara es realizar ensayos de corrosión y degradación a los materiales y recubrimientos que serán utilizados en la fabricación de los embarcaderos con el fin de estudiar el comportamiento de dichos materiales frente a diferentes condiciones ambientales que puedan presentarse.

El diseño y construcción de la cámara de envejecimiento acelerado por parte de la escuela de ingeniería mecánica busca contribuir con la necesidad de una máquina que permita realizar dichas simulaciones de envejecimiento artificial debido a que este tipo de mecanismos suelen ser

costosos y es por ello que uno de los principales motivos para el diseño y construcción de una cámara de envejecimiento es el ahorro económico que se puede evidenciar en comparación con la adquisición y puesta en funcionamiento de este tipo de maquinaria.

Posteriormente al cumplimiento del contrato de interventoría y debido a la carencia de una máquina que permita realizar ensayos de envejecimiento acelerado para determinar propiedades y comportamientos en materiales y elementos utilizados en el ámbito industrial. Esta herramienta permitirá beneficiar directamente a los estudiantes durante su formación académica para una mejor comprensión de las temáticas vistas, adicionalmente favorece a la escuela de ingeniería mecánica al aumentar sus equipos y dispositivos de laboratorio.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Diseñar y construir una cámara de envejecimiento acelerado Para materiales metálicos y no metálicos para uso en el proyecto FNTC-646-2023 FONTUR - UIS.

1.2.2 Objetivos Específicos

- A. Establecer los requerimientos de diseño operativos según las normas establecidas para los ensayos de envejecimiento acelerado haciendo uso de materiales metálicos, polímeros, pinturas.

- B. Diseñar la cámara de envejecimiento acelerado según los parámetros especificados de las normas ASTM G151-19, G154-23, G155-21, G85-19, D4587-23, B117-19, D1654-08, D2247-25, D1735-21, incluyendo los sistemas de control.

- C. Construir y validar el funcionamiento de la cámara de envejecimiento acelerado para los metales, aluminio, acero al carbono, aceros recubiertos de pintura epoxi y poliuretano y plásticos.

- D. Desarrollar el manual de funcionamiento y mantenimiento de la cámara de envejecimiento acelerado.

2. Marco teórico

2.1 Intemperismo

El intemperismo es el proceso de deterioro químico y físico de manera prolongada en materiales naturales y elementos creados por la mano del hombre, este fenómeno es causado por condiciones ambientales como radiación solar, las precipitaciones de lluvia, granizo o nieve, temperatura, humedad, abrasión y fricción por partículas arrastradas por cuerpos de agua o viento y actividades humanas entre otros. (Taraborelli et al., 2020).

El proceso de intemperismo puede ocurrir en medios continuos o nuevos, es decir, el efecto del intemperismo puede cambiar si el entorno modifica sus condiciones, los principales mecanismos de intemperismo son el físico y químico. El intemperismo físico es la fractura del elemento causado por tensiones que se pueden generar en el material debido a los constantes cambios o choques térmicos que se generan. El intemperismo químico es provocado por los ambientes húmedos los cuales pueden arrastrar consigo partículas contaminantes del ambiente y agentes químicos que pueden provocar grietas o fallas en los materiales. (Price, 1995).

2.2 Corrosión

La corrosión es un fenómeno químico irreversible provocado por las condiciones naturales de un medio en materiales, en especial los metales, lo cual conlleva a una degradación del elemento y sus propiedades. (Fernández et al., 2018).

2.2.1 Tipos de Corrosión

2.2.1.1 Según Mecanismo de Corrosión.

2.2.1.1.1 Corrosión Química. También se conoce oxidación directa o seca, se da en atmósferas gaseosas a alta temperaturas en la cual se aprecia una formación de una película sólida de productos de reacción sobre la superficie metálica. La forma de ataque que se presenta en este tipo de corrosión es generalizada. (Fernández et al., 2018).

2.2.1.1.2 Corrosión electroquímica. La corrosión húmeda o electroquímica ocurre cuando un material entra en contacto con una disolución acuosa a temperatura moderada. En este proceso, se forma un circuito electroquímico en el que ocurren reacciones de reducción y oxidación a la vez, lo que provoca la corrosión del material. (Fernández et al., 2018).

2.2.1.2 Según Morfología de Ataque.

2.2.1.2.1 Corrosión generalizada. también conocida como corrosión uniforme, este tipo de corrosión se presenta de manera homogénea sobre toda la superficie del material en el cual puede llegar a causar una gran pérdida de este, pero en aspectos generales es fácil de prevenir y controlar. La corrosión uniforme se presenta generalmente en materiales como níquel, cromo y aceros inoxidable, la propagación de la corrosión uniforme depende de la existencia de impurezas

y fases diferidas en el material debido a que pueden provocar una variación de energía potencial formando electrodos que facilitan la corrosión. (Salazar, 2015).

2.2.1.2.2 Corrosión por picadura. de igual modo se conoce como pitting y este tipo de corrosión es difícil de detectar y por lo tanto suele ser peligrosa, se presenta debido a las heterogeneidades presentes en la superficie del material relacionadas a la composición, estructura o acabado superficial, además, de acumulación de agentes oxidantes e incrementos del pH en el ambiente puede propiciar el desarrollo de la corrosión en puntos específicos del material. (Salazar, 2015).

2.2.1.2.3 Corrosión galvánica. este tipo de corrosión se muestra al poner en contacto dos materiales metálicos uno pasivo “más noble” y otro activo “más negativo” no necesariamente distintos dentro de una misma solución o medio conductor en el cual el elemento más activo es el que sufre una corrosión más acelerada debido a que se polariza anódicamente mientras que el elemento pasivo polarizado catódicamente reduce su velocidad de corrosión. (Fernández et al., 2018).

2.2.1.2.4 Corrosión intergranular. Se presenta en los bordes de grano debido a que estos pueden ser más reactivos o con mayor energía acumulada que la matriz o inestables, además de que se presenta mayor cantidad de impurezas en los límites de grano dando la posibilidad de que estas zonas específicas se carguen anódicamente siendo susceptible la corrosión. (Vazquez, 2014).

2.2.2 Tipos de Ensayos de Corrosión

2.2.2.1 Prueba de niebla salina. Este procedimiento consiste en someter una muestra de un material determinado a una solución salina (cloruro de sodio-NaCl) con una concentración de un 5% manteniendo la temperatura constante y la niebla salina continúa así garantizando una corrosión en el material. El mencionado procedimiento, se realiza según la norma ASTM B117, que establece la práctica estándar para el funcionamiento de aparatos de niebla salina (ASTM International, 2019b).

2.2.2.2 Prueba de corrosión ultravioleta (UV). Esta práctica tiene como finalidad exponer a un material en específico a rayos UV controlando variables temperatura y humedad, con el fin de simular los efectos cuando se tiene este material en la intemperie, esta práctica esta normalizada por la ASTM G154- Práctica estándar para el funcionamiento de aparatos con lámparas fluorescentes ultravioleta (UV) para la exposición de materiales (ASTM International, 2023b) y por la ASTM G151 - Práctica estándar para la exposición de materiales no metálicos en dispositivos de ensayo acelerado que utilizan fuentes de luz de laboratorio. (ASTM International, 2019a)

2.3 Envejecimiento Artificial

Es un método que crea deterioro mediante la aplicación de ciclos artificiales simulando condiciones como radiación solar, humedad, temperatura y niebla salina, el ciclo de exposición puede variar según el material evaluado. (Cabezas & Mejía, 2018).

2.4 Envejecimiento Artificial Acelerado

El envejecimiento artificial acelerado tiene como propósito efectuar cambios en las propiedades de los materiales evaluados en ensayos de envejecimiento a una mayor velocidad de

deterioro y para ello simulan condiciones más extremas y agresivas en cámaras de envejecimiento. (Cabezas & Mejía, 2018).

2.5 Cámara de Envejecimiento Acelerado

Una cámara de envejecimiento acelerado es una herramienta la cual permite simular condiciones ambientales o condiciones más extremas controlando variables como la humedad, temperatura y radiación solar con el fin de evaluar propiedades y comportamientos de los materiales frente a dichas condiciones. (Parada et al., 2021).

2.6 Tipos de Cámaras de Envejecimiento Acelerado

2.6.1 Cámara de niebla salina

La cámara de niebla salina o cámara de corrosión están diseñadas para simular condiciones o atmósferas salinas para realizar pruebas de manera acelerada en cualquier tipo de material, tienen la facultad de realizar ciclos repetitivos de salinidad, humedad y temperatura. (Inetel, 2024).

Figura 1.

Cámara de niebla salina.



Nota. La figura muestra una cámara de niebla salina. Tomado de www.inelttec.es

2.6.2 Cámara de envejecimiento acelerado UV

Simula el daño hecho por la luz solar, lluvia y humedad recreando el daño que se apreciaría en meses o años es cuestión de días, con tal fin, se someten los materiales de prueba en ciclos repetitivos de luz UV utilizando lámparas fluorescentes, humedad y temperaturas controladas y elevadas. (TECSUD, 2024).

Figura 2.

Cámara de envejecimiento acelerado UV.



Nota. La figura muestra una cámara de envejecimiento acelerado por radiación UV. Tomado de <https://www.tecsud.com/producto/quv/>

2.6.3 Cámara de radiación solar

Este tipo de cámaras son similares a la cámara de envejecimiento acelerado UV, una de las principales diferencias es el uso de un arco de xenón para replicar el deterioro causado por el espectro solar, además de replicar condiciones de humedad y temperatura. (TECSUD, 2024).

Figura 3.

Cámara de radiación solar.



Nota. La figura muestra una cámara de radiación solar. Tomado de

<https://www.tecsud.com/producto/q-sun-xe-1/>

2.6.4 Cámara de niebla

Esta herramienta tiene como función recrear los efectos destructivos que realiza la humedad que se presenta en diferentes ambientes húmedos aplicándolos en elementos de prueba, esta máquina puede reproducir ciclos repetitivos con condiciones de rocío, lluvia y niebla. (TECSUD, 2024).

Figura 4.

Cámara de niebla.



Nota. La figura muestra una cámara de envejecimiento acelerado por radiación UV. Tomado de <https://www.tecsud.com/producto/qct/>

3. Diseño Conceptual

3.1 Análisis de Requerimientos

Los requerimientos de la cámara de envejecimiento acelerado se determinaron con la información suministrada por la universidad industrial de Santander en cumplimiento del contrato FNTC-646-2023 FONTUR – UIS y las normativas establecidas para los ensayos de corrosión. Por consiguiente, los requerimientos establecidos son:

- Las probetas deben ser rectangulares o discos. (Champion, 1970).
- Para ensayos de corrosión por radiación UV en materiales y recubrimientos debe contar con los requerimientos, aparatos y condiciones que se especifican en las normas ASTM G154 y D4587.
- Las normas anteriormente mencionadas especifican que la cámara de radiación UV debe hacer uso de una lámpara UV estándar, aparato que genere temperatura requerida, un mecanismo para aspersion o condensación de agua.
- Para el funcionamiento de la cámara de envejecimiento acelerado es necesario un sistema de control que regule la temperatura, radiación, monitoreo del pH, ventilación, humedad, tiempo de la prueba, volumen de agua.
- Para el ensayo de niebla salina se tiene como requerimiento cumplir con las especificaciones que da la norma ASTM B117 sobre aparatos, procedimiento y condiciones que se debe llevar a cabo para esta práctica.
- Los componentes necesarios especificados en la ASTM B117 son cámara de niebla, depósito de solución, suministro de aire comprimido, torre de aspersion, dispositivo de calentar la cámara, soporte de las probetas y medios de control, Como requerimientos el agua utilizada para esta práctica debe ser Tipo IV según la D1193 (Agua destilada), las probetas deben tener un ángulo entre 15° a 30° respecto a la vertical en el momento de la práctica, una temperatura específica y monitoreo del pH, no debe gotear .
- Fácil operación.
- Seguridad para el operario.
- La máquina debe ser mantenible.

- Costo accesible.
- Hermeticidad.

Las condiciones establecidas en las normas ASTM G154 y D4587 se encuentran en los apéndices A y B.

Dados los requerimientos establecidos, se plantean los subsistemas más relevantes para el diseño de la cámara de envejecimiento acelerado, por consiguiente, los subsistemas antes mencionados son detallados en la siguiente tabla.

Tabla 1.

Subsistemas de cámara de envejecimiento acelerado.

Subsistema	Descripción
Subsistema de radiación UV.	Lampara de radiación UV, generador temperatura y humedad.
Subsistema de niebla salina.	Compresor, Torre de aspersion, filtros, Tanque de almacenamiento, drenaje y mangueras.
Subsistema de control.	Controlador, sensores, reguladores y elementos de seguridad (Breakers, interruptores, etc.).

A continuación, serán valorados los componentes necesarios planteados de cada subsistema y los requerimientos de las normas en una matriz QFD donde se establecerá la importancia de cada componente establecido y se ordenarán de mayor a menor según la relevancia de cada una. En la columna izquierda se encuentran los requerimientos y en la primera fila se encuentran los componentes. Además, luego de evaluar los elementos se realizará una matriz QFD general para cada subsistema y requerimiento general de la cámara, Por consiguiente, se mostrará la calificación de la matrices QFD en la siguiente tabla.

Tabla 2.*Calificaciones de matriz QFD.*

Sin relevancia.	0
Baja relevancia.	3
Mediana relevancia.	6
Alta relevancia.	9

En las siguientes tablas se mostrarán las matrices QFD para los subsistemas de la cámara de envejecimiento acelerado.

Tabla 3.*Matriz QFD de subsistema de control.*

Subsistema de Control	Prioridad	Controlador	Sensores	Reguladores	Elementos de seguridad
Radiación UV	9	9	9	7	6
Niebla salina	9	9	8	6	4
Temperatura	6	8	8	8	3
Humedad	6	7	6	5	3
Condensación	3	6	3	3	3
Importancia total		270	246	204	135
Importancia relativa (%)		31.57	28.8	23.85	15.78

Tabla 4.*Matriz QFD de subsistema de radiación UV.*

Subsistema de radiación UV	Prioridad	Lámpara de radiación UV	Generador de temperatura	Generador de humedad
Radiación UV	9	9	0	0
Temperatura	6	6	9	3
Humedad	6	0	3	9
Condensación	3	0	6	9
Importancia total		117	90	99
Importancia relativa (%)		38.24	29.41	32.35

Tabla 5.

Matriz QFD de subsistema de niebla salina.

Subsistema de niebla salina	Prioridad	Compresor	Torre de aspersión	Generador de Temperatura	Soporte de probetas
Niebla	9	9	9	6	0
Temperatura	8	3	3	9	0
pH	7	0	3	9	0
Ángulo de incidencia	6	0	0	0	9
Importancia total		105	126	189	54
Importancia relativa (%)		22.15	26.58	39.87	11.39

Tabla 6.

Matriz QFD general.

Cámara de envejecimiento acelerado	Prioridad	Subsistema de radiación UV	Subsistema de niebla salina	Subsistema de control
------------------------------------	-----------	----------------------------	-----------------------------	-----------------------

Ensayo de corrosión por radiación UV	9	9	0	6
Ensayo de corrosión por niebla salina	9	0	9	6
Hermeticidad	8	6	8	3
Costo accesible	7	7	7	5
Seguridad de la máquina	6	5	4	6
Debe ser mantenible	6	6	7	6
Fácil operación	4	8	8	4
Forma de las probetas	2	3	3	0
Importancia Total		282	304	249
Importancia relativa (%)		33.8	36.4	29.8

3.2 Planteamiento de Alternativas.

Se plantearon 3 alternativas para la realización del proyecto, todas las alternativas tienen los componentes requeridos para realizar la práctica seleccionada, control de temperatura y humedad, cada alternativa tiene la finalidad de cumplir con las mismas funciones.

- **Alternativa 1:** Máquina de horizontal de tres secciones, primera sección con la prueba de niebla salina, segunda sección prueba UV, tercera sección para ejecutar la condensación requerida en los ciclos de la prueba UV, control de las probetas entre la sección UV y la sección de condensación automático. El boceto en el apéndice D de esta alternativa.
- **Alternativa 2:** Máquina horizontal de dos secciones, cada sección para una prueba niebla salina o UV, en la sección UV se lleva a cabo el proceso de condensación requerido, control de probetas manual. Se puede ver el boceto en el apéndice E y G de esta alternativa.

- **Alternativa 3:** Máquina de una sección con la opción de modificar mecánicamente para poder realizar la prueba destinada ya sea UV o niebla salina. Se puede ver el boceto en el apéndice F de esta alternativa.

3.3 Selección de Alternativas

Luego de plantear tres alternativas en base a las consideraciones, requerimientos y subsistemas se evaluaron dichas alternativas de 0 a 5 y se cuantificaron los resultados para seleccionar la mejor opción.

Tabla 7.

Matriz PUGH.

	Opciones de diseño							
	Puntuación	Puntuación (%)	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Subsistema de radiación UV	282	33.8	4	1.35	4.3	1.45	4.2	1.42
Subsistema de niebla salina	304	36.4	4.3	1.56	4.3	1.56	4.1	1.49
Subsistema de control	249	29.8	3.8	1.13	4	1.19	4	1.19
Total	835	100	4.04		4.2		4.1	

Nota. Luego de observar las ponderaciones en la tabla, finalmente se obtiene que la mejor opción de diseño para la cámara de envejecimiento acelerado es la alternativa dos.

4. Diseño a Detalle y Construcción del Equipo

4.1 Diseño a detalle.

Para esta sección se muestran los requerimientos específicos obtenidos de las normas ASTM correspondientes a ensayos de corrosión para la cámara de envejecimiento acelerado en tablas que incluyen de manera resumida las exigencias de la sección UV y niebla salina.

A continuación, se muestran las tablas para el diseño de la sección UV, las cuales exponen las lámparas fluorescentes requeridas, los elementos de control y temperatura, materiales de la cámara y cantidad de muestras, entre otros.

Tabla 8.

Tabla de requerimientos y componentes lámpara UV

Componente o requerimiento	Especificación	Observaciones	Norma	Sección
Lámparas UV	Se requiere que sean lámparas fluorescentes UVA-340.	Simulan el pico de radiación solar más crítico el cual es a medio día.	G154	6.1.4 Tabla 1
Espectro de emisión UV	Cumplir espectro de emisión para UVA entre 290 nm – 400 nm.	Cada tipo tiene requisitos mínimos y máximos por banda (290 – 400 nm).	G154	6.1.4 Tabla 1
Uniformidad de la irradiancia	Debe ser mayor o igual al 70 % en toda el área útil de exposición; debe ser mayor o igual al 90 % para evitar reposicionamiento.	Reposicionamiento obligatorio si la irradiancia sobre las muestras es menor al 90 %.	G151	5.1.2 5.1.3 5.1.4

Tabla 9.

Tabla de requerimientos y componentes para el control

Componente o requerimiento	Especificación	Observaciones	Norma	Sección
----------------------------	----------------	---------------	-------	---------

Sensor y control de Temperatura	Tolerancia: $\pm 3^{\circ}\text{C}$ sobre 70°C .	Debe usarse termómetro de panel negro (aislado o no).	G151	5.2.7
Control de Temperatura del Aire	Si se incluye, la tolerancia debe ser $\pm 3^{\circ}\text{C}$ del valor setpoint.	Sensor protegido de la luz y el espray	G151	5.2.9
Sistema de Humedad / Condensación	Debe permitir ciclos con formación de condensación o rociado con agua. Se debe poder programar ciclos húmedos/secos.	Condensación lograda por diferencia térmica o mediante rociado de agua.	G151/G154	5.3.1 G151 6.6.1 G154
Sistema de calefacción	Puede ser utilizado para facilitar el control de temperatura, este sistema ayuda a lograr las temperaturas de set point para los ensayos	Se realiza el calentamiento o calefacción mediante el uso de un ventilador y resistencias calentadoras de aire y agua		

Tabla 10.

Tabla de requerimientos de materiales, número de probetas y otras especificaciones.

Componente o requerimiento	Especificación	Observaciones	Norma	Sección
Calidad del Agua	Sólidos disueltos ≤ 1 ppm, sílice ≤ 0.2 ppm, conductividad < 5 $\mu\text{S/cm}$.	Usar agua destilada, desionizada o filtrada	G151	5.3.2
Material de Cámara y Soportes	Materiales resistentes a radiación UV y corrosión, como acero inoxidable.	Evitar acero al carbono, cobre, latón o aluminio.	G151 G154	6.2 G154
Control de Ciclos de Luz/Oscuridad	Debe permitir programación precisa ($\pm 10\%$) de ciclos de exposición UV, condensación o espray.	Ciclos típicos: 8 h UV a 60°C ($\pm 3^{\circ}\text{C}$) y 4 h condensación a 50°C ($\pm 3^{\circ}\text{C}$). 8 h UV a 70°C ($\pm 3^{\circ}\text{C}$) y 4 h condensación a 50°C ($\pm 3^{\circ}\text{C}$).	G151 G154	Tabla X2.1 G154 5.4.1 G151

Número de muestras de prueba	A menos que se especifique o requiera lo contrario, la cantidad mínima de muestras debe ser mayor o igual que 9 unidades.	utilice al menos tres especímenes replicados donde las propiedades se midan utilizando pruebas no destructivas y seis especímenes donde las propiedades se midan utilizando pruebas destructivas.	G151	6.2.2
Calibración de Sensores	Al menos una vez al año, o tras cambio de componentes ópticos o sensores.	Incluye sensores de irradiancia, temperatura y humedad si aplica.	G151	5

Tabla 11.

Requerimientos de componentes cámara salina.

Componente	Especificación	Norma	Sección
Cámara de exposición	Contener la niebla salina a 35 ± 2 °C, material plástico o metal inoxidable.	B117	X1.1.5 / 10.1
Cubierta o tapa inclinada	Evitar goteo sobre las muestras, material plástico o químicamente inerte	B117	4.2
Boquillas de atomización	Generar niebla fina de solución salina, material plástico o acero inoxidable	B117	X1.3 / 10.3
Torre de saturación de aire	Humidificar aire comprimido a 46–49 °C, material plástico o material químicamente inerte	B117	7.4 / X1.4.1
Sistema de calefacción	Mantener temperatura en cámara y torre de saturación de aire, Eléctrico, con control automático	B117	X1.2 / 10.1
Compresor de aire + filtro	Suministrar aire limpio y seco, Filtro de partículas y de aceite.	B117	9.1 / 9.3 / X1.4.1
Reservorio de solución salina	Almacenar solución NaCl 5% y alimentar el sistema de solución, Plástico o material químicamente inerte	B117	8.1 / 10.2
Recolectores de niebla (embudos)	Medir volumen de deposición de niebla (1–2 mL/h por 80 cm ²), Vidrio o plástico, 10 cm de diámetro.	B117	10.2 / Nota 11

Soportes para muestras	Sujetar las probetas entre 15° y 30° de la vertical, Vidrio, plástico, goma o madera recubierta.	B117	7.1 / 7.1.1
Sistema de drenaje	Eliminar el exceso sin recircular la solución atomizada, Con pendiente, sin recirculación.	B117	4.3
Ventilación controlada	Permitir escape de niebla sin afectar condiciones, Conductos protegidos del viento externo.	B117	X1.1.6

Tabla 12.

Requerimiento de control.

Elemento de control	Variable controlada	Requisito según norma B117	Sección
Sensor de temperatura (cámara)	Temperatura ambiente de exposición	35 ± 2 °C	10.1
Sensor de temperatura (torre)	Aire saturado	46–49 °C	7.4
pH-metro o papel indicador	pH del condensado	Entre 6.5 y 7.2	8.2
Salímetro / densímetro	Concentración de sal en el condensado	5 ± 1 % en masa	10.2
Registrador de temperatura	Registro continuo o diario	gráfico o digital	10.1 / Nota 9
Recolectores de niebla	Cantidad de solución recolectada	1.0 a 2.0 mL/h por 80 cm ²	10.2 / Nota 11

A continuación, en la siguiente tabla se muestran los elementos principales que se van a utilizar para la sección UV, posteriormente se inicia con el diseño y ensamblaje de la cámara de envejecimiento acelerado.

Tabla 13.

Elementos principales de sección UV.

Componente	Cantidad	Número de lista
Filtro de agua	1	1

Válvula solenoide	2	1.1
Tanques de agua	2	1.2
Sensor de nivel	2	1.3
Resistencia calentadora de agua	2	1.4
Sensor de temperatura	3	1.5
Electrobomba centrifuga	1	1.6
Boquilla aspersora de agua	2	1.9
Resistencia calentadora de aire	1	1.10
Turbina de aire	1	1.11
Lámpara de radiación UV	2	1.13
Material aislante	3 m ²	1.14

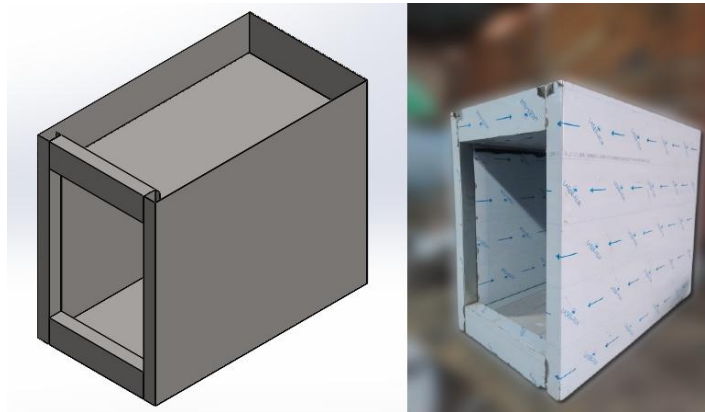
Es relevante aclarar que el número de lista de los elementos mostrados en la tabla anterior fue asignado de acuerdo con el diagrama ilustrativo de la sección mostrado en el apéndice G.

4.1.1 Cuerpo de la Cámara UV

El cuerpo de la cámara está diseñado en base a las dimensiones de las lámparas fluorescentes, porta probetas, el ducto de ventilación, la boquilla atomizadora y el material utilizado para su construcción obteniendo como resultado unas dimensiones finales de 50.2 cm de ancho, 74.8 cm de alto y 118.3 cm de largo.

Figura 5.

Vista isométrica cuerpo sección UV.



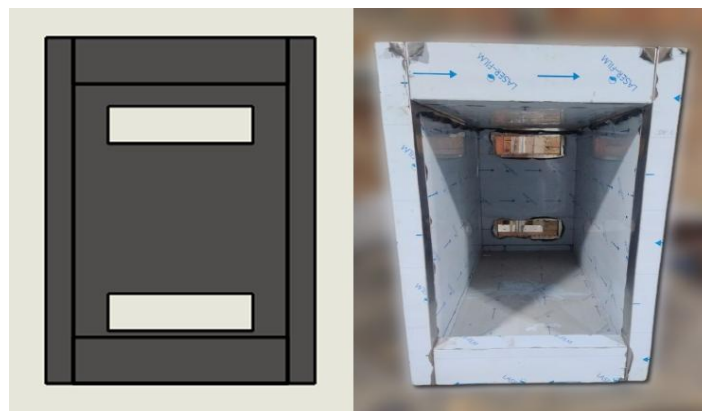
Para definir el ancho se consideraron las dimensiones del porta probetas y de los materiales utilizados para esta sección dando como resultado el siguiente valor:

$$\mathbf{Ancho} = \mathit{ancho\ portaprobeta} + \mathit{ancho\ material\ interno} + \mathit{ancho\ aislante} + \\ \mathit{ancho\ material\ externo}$$

$$\mathbf{Ancho} = 40\text{ cm} + 0.2\text{ cm} + 5.0(2)\text{ cm} + 0.2\text{ cm} \approx \mathbf{50.2\text{ cm}}$$

Figura 6.

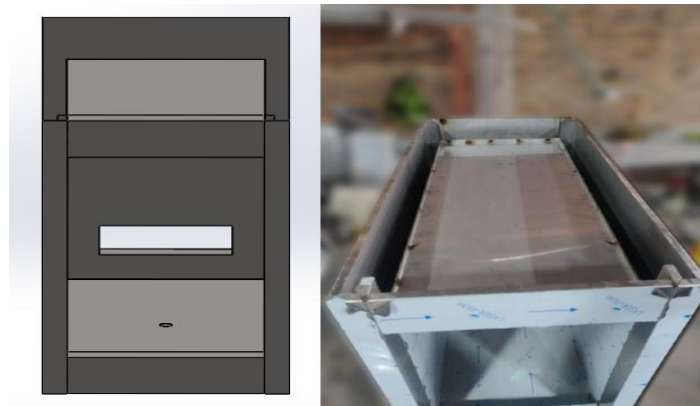
Vista frontal cuerpo sección UV.



Para el dimensionamiento inicial del largo de la cámara se tuvo en cuenta la longitud de las lámparas las cuales son aproximadamente de 60 cm, pero debido a que el porta probetas tiene una longitud superior a las lámparas se modificó el largo interno cuyo valor final es de 80.0 cm.

Figura 7.

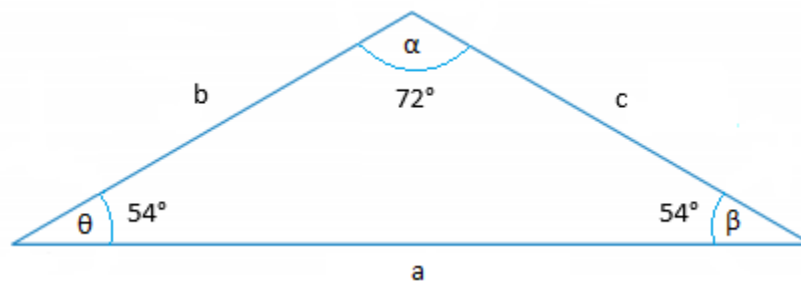
Vista superior cuerpo sección UV.



Continuando con el diseño, se considera una altura interna de 27 cm desde el porta probeta hasta la boquilla ubicada en la parte superior de la sección UV, para determinar si la altura mencionada es válida para una aspersion efectiva sobre todas las probetas y muestras irregulares se calcula el rango de rociado conociendo el ángulo de aspersion de la boquilla que es de 72°

Figura 8.

Triángulo dimensiones de sección UV.

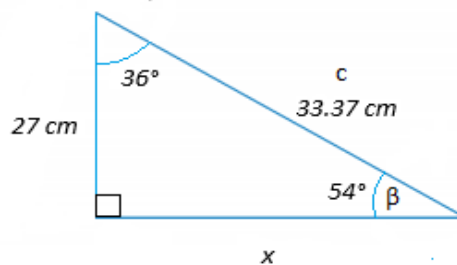


Como se observa en la figura 8 los lados b y c son de la misma medida por lo tanto se puede pasar una bisectriz vertical en medio del triángulo para así formar un triángulo rectángulo y posteriormente se calcula el lado c el cual es la hipotenusa, para ello se utiliza (ecuación 1)

Ecuaciones trigonométricas: $\sin \beta = \frac{Op}{Hip}$.

Figura 9.

Triángulo Rectángulo Dimensiones de Sección UV.



$$\sin \beta = \frac{Op}{Hip}$$

$$c = \frac{27 \text{ cm}}{\sin 54^\circ} = 33.37 \text{ cm}$$

Finalmente se aplicó (ecuación 2) *El teorema de Pitágoras:* $c^2 = x^2 + b^2$, para hallar el lado adyacente del triángulo.

$$c^2 = x^2 + b^2$$

$$x^2 = c^2 - b^2$$

$$x^2 = 33.37^2 - 27^2 = 384.5569 \text{ cm}^2$$

$$x = \sqrt{384.5569 \text{ cm}^2} = 19.7 \text{ cm}$$

$$\text{Cobertura total} = 2 * 19.7 \text{ cm} = 39.4 \text{ cm}$$

Se obtuvo la distancia máxima de cobertura de la boquilla atomizadora al porta probeta, debido a que se requiere que la aspersion sea suficiente para cubrir la longitud mayor del porta probeta cuyo valor es de 80 cm, se va a hacer uso de 2 boquillas, se asegura que la condensación llegue a toda el área.

4.1.2 Sistema de calefacción de sección UV

En el sistema de calefacción es requerido hacer uso de resistencias eléctricas las cuales ayudan a calentar el interior de la cámara y los tanques de agua, también mantienen las condiciones óptimas de temperatura requeridas. Se inició determinando la perdida de calor a través de cada pared de la cámara haciendo uso de la (ecuación 3) *Conducción de Calor en Estado Estacionario*:

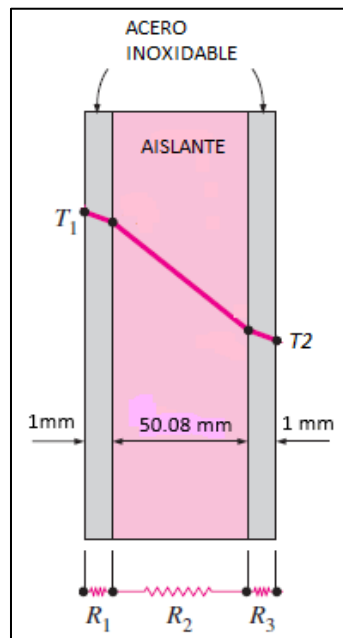
$$\dot{Q}_{cond} = \frac{\Delta T}{R_{pared}} \cdot$$

Donde $R_{pared} = \frac{L(m)}{k(\frac{w}{m \cdot k}) \cdot A(m^2)}$ y ΔT es la diferencia de temperaturas. Se realizó el cálculo para una sola pared de la cámara la cual es lateral derecha. Las paredes restantes y los tanques de agua se incluyeron en tablas las cuales se encuentran en el apéndice H.

Por consiguiente, se muestra en la siguiente figura las resistencias térmicas múltiples que representan las paredes planas de la cámara UV.

Figura 10.

Esquema de resistencias



Nota. Se observa el diagrama de resistencias de una de las paredes de la cámara UV. Tomado de: Transferencia de Calor y Masa Yanus A. Çengel.

Luego de establecer el esquema de resistencias de la pared lateral derecha se muestra en la siguiente tabla los datos necesarios para realizar el cálculo.

Tabla 14.

Datos de transferencia de calor.

Composición de pared	Longitud (L)	Área (A)	Conductividad térmica (k)
Acero inoxidable	0.001 m	0.51 m^2	$15.6 \frac{\text{w}}{\text{m} \cdot \text{k}^\circ}$
Fibra de vidrio	0.0508 m	0.6341 m^2	$0.039 \frac{\text{w}}{\text{m} \cdot \text{k}^\circ}$
Acero inoxidable	0.001 m	0.658 m^2	$15.6 \frac{\text{w}}{\text{m} \cdot \text{k}^\circ}$

además, cabe aclarar que la temperatura interior en la cámara es de 70°C (denominada T_1) y la temperatura ambiente en la ciudad de Bucaramanga es de aproximadamente 27°C

(denominada T2). Continuando con el cálculo se reemplazaron los valores para hallar la resistencia total en el esquema.

$$R_{total} = \frac{0.001}{15.6 * 0.51} + \frac{0.0508}{0.0039 * 0.6341} + \frac{0.001}{63.9 * 0.658} = \mathbf{2.054} \frac{^{\circ}K}{W}$$

Luego de obtener el valor de la resistencia total se procede a hacer uso de (ecuación 3)

$$Q_{pared} = \frac{343^{\circ}K - 300^{\circ}K}{2.06 \frac{^{\circ}K}{W}} = \mathbf{20.93 W}$$

Posteriormente al cálculo de la pérdida de calor a través de las paredes de la cámara, se procede a hacer uso de (ecuación 4) *Balace de energías de la primera ley de la termodinámica: Energía del sistema = Energía que entra – Energía que sale.* (Çengel & Boles, n.d.)

Donde:

$$Energía del sistema = m * C_p * \Delta T$$

Cabe aclarar que m es la masa de aire en el sistema, C_p es el calor específico del aire y ΔT es la diferencia de temperaturas en el interior y exterior del sistema. Estas constantes se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 15.*Constantes de energía del sistema.*

Constante	Valor	Unidad
C_p	1004	$\frac{J}{Kg * ^\circ K}$
ΔT	43	$^\circ C$
m	18.82	Kg

La energía que entra al sistema es suministrada por la resistencia durante un tiempo establecido.

$$\text{Energía que entra} = Pot_{resistencia} * t$$

La energía que sale del sistema es la pérdida de calor a través de las paredes de la cámara cuyo valor se calculó anteriormente.

$$\text{Energía total que sale} = 135.84 W = Q_{perdida}$$

Haciendo uso de (ecuación 4) se va a determinar el tiempo que tarda la resistencia en calentar el aire dentro de la sección UV, se realizó iteraciones con el valor de potencia de la resistencia, esto se debe a la disponibilidad de resistencias en el mercado y por ello se escogió la que representara menor tiempo de calentamiento posible, además de considerar las pérdidas en el sistema. Se seleccionó una resistencia calentadora de aire de 700 W.

$$Q_{perdida} * t = Pot_{resistencia} * t - C_p * m_{aire} * \Delta T$$

$$135.84 * t = 700 * t - 1004 * 18.82 * 43$$

$$t = 1440.2 \text{ s} = 1440.2 \text{ s} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \approx \mathbf{24.00 \text{ min}}$$

Es pertinente mencionar que el tiempo estimado en el cálculo anterior podría ser mayor debido a la inercia térmica que presenta el sensor térmico y el material de la cabina, además, se realizó el mismo procedimiento para el cálculo de la resistencia y sus respectivos tiempos para los tanques contenedores de agua de la sección UV. Los valores y resultados se encuentran en apéndice H, incluyendo los cálculos de la sección salina.

4.2 Construcción del Equipo UV

Luego de realizar el diseño a detalle del equipo, se procede a mostrar los elementos adquiridos para el funcionamiento según los requerimientos establecidos en la fase del diseño y el proceso de construcción de la máquina.

4.2.1 Boquilla Atomizadora de Agua Sección UV

Se seleccionaron boquillas de aspersion fina de media a alta presión marca Verlek, usan dicho liquido a presión para generar la atomización provocando que la aspersion sea en forma de cono, es decir, con un área de impacto circular, cuenta con un material de acero inoxidable, además de tener un tamaño compacto y un flujo moderado.

Figura 11.

Boquillas atomizadoras.



4.2.2 Aislante Térmico de La Sección UV

Se consideró como aislante la fibra de vidrio debido a que es manejable y se adapta a la forma que tiene la cámara, adicionalmente, evita pérdidas de calor elevadas contribuyendo a mantener la temperatura en el interior, además, es de fácil acceso y bajo costo en el mercado.

Figura 12.

Rollo de fibra de vidrio.



4.2.3 Lámparas de Radiación UV

La selección las lámparas de radiación UV se hizo teniendo en consideración los requerimientos establecidos por la norma ASTM G154 los cuales se encuentran en la tabla 8,

finalmente se eligieron lámparas de radiación UVA de la marca Philips debido al precio y accesibilidad en el mercado, mantenimiento, manejo y vida útil, cuentan con una longitud de 60 cm y diámetro de 2.8 cm, cuentan con una potencia de 18 Watts e intensidad de radiación de 340 a 400 nm.

Figura 13.

Lámparas de radiación UV.



4.2.4 Bomba Eléctrica Centrifuga

Se escogió la bomba centrifuga marca Pedrollo modelo AL-RED 135m de 1 Hp, debido al bajo caudal que puede impulsar a presiones moderadas lo cual es apropiado ya que las boquillas tienen un consumo bajo de L/hr y mantienen presiones moderadas o altas, además, posee caracola y rodete en acero inoxidable haciendo adecuada la bomba para los requerimientos establecidos en la tabla 10 respecto a la pureza del agua.

Figura 14.

Bomba centrifuga.



4.2.5 Resistencia Calentadora de Aire

Se adquirió una resistencia para calentar aire según los cálculos realizados en el diseño a detalle, tiene una potencia de 700W y una longitud aproximada de 25 cm, cabe recalcar que la resistencia es de acero inoxidable lo cual es adecuado para las condiciones de prueba y es de fácil instalación.

Figura 15.

Resistencia calentadora de aire.



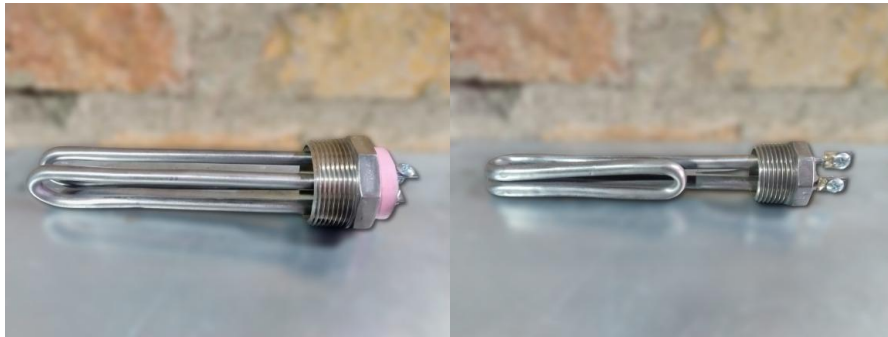
4.2.6 Resistencias de Tanques de Agua

La adquisición de las resistencias calentadoras de agua se hizo según los cálculos realizados los cuales se encuentran en el apéndice H, se compró una resistencia de 2500W de 20 cm de largo

y con un racor de $1\frac{1}{2}$ " esta resistencia va a calentar agua que llega filtrada del acueducto, para el tanque en el cual se va a mantener la temperatura del agua durante la fase de condensación de la prueba se adquirió una resistencia de 1500W de 18 cm de largo y un racor de 1".

Figura 16.

Resistencia calentadora de agua.



4.2.7 Turbina de Aire

Se realizó la compra de una turbina de aire marca Welling modelo YXR9 con una potencia de 8W, se tomó como principal consideración que la turbina o ventilador tuviera alta resistencia a la humedad, cuenta con un caudal de aire entre 20-30 CFM.

Figura 17.

Turbina de aire.

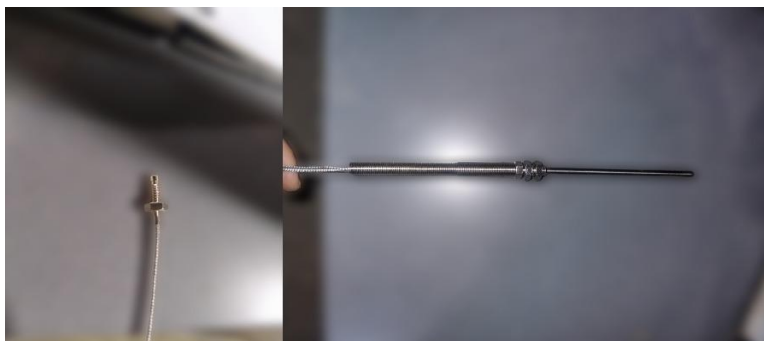


4.2.8 Sensores de Temperatura

Se seleccionaron termocuplas tipo J marca EBCHQ con bulbo de 1.5 cm y 10 cm, cuenta con una sensibilidad de $50 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ para dar una lectura de la temperatura en los rangos de funcionamiento establecidos para las pruebas de intemperismo, también se tuvo en cuenta el material del sensor el cual es de acero inoxidable, además de considerar su bajo costo y accesibilidad.

Figura 18.

Sensores de temperatura.



4.2.9 Ensamblaje de Cámara UV

Luego de adquirir los materiales y dispositivos necesarios, se empezó con la construcción de la parte estructural de la sección UV tomando como guía los planos detallados los cuales se encuentran en el apéndice G. Cabe aclarar que para la estructura se utilizó acero inoxidable AISI 304 calibre 20, este material cumple con las exigencias de resistencia a la corrosión y humedad, además de su larga durabilidad.

Se utilizó una dobladora para dar la forma a la parte interna de la cabina, luego se aplicó soldadura TIG para unir las partes y dar forma a la estructura. Posteriormente se realizó el mismo proceso con el cuerpo externo y se unieron las dos partes con soldadura para formar la cabina.

Figura 19.

Vistas isométrica y superior de la estructura UV.

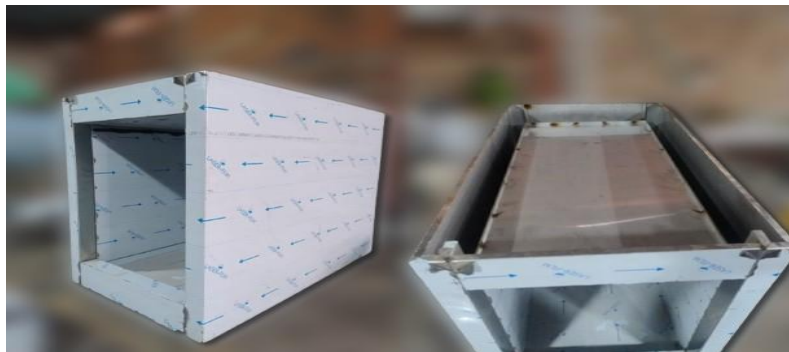


Figura 20.

Vistas frontal y trasera de la estructura UV.



Continuando con el proceso, como se observa en las figuras 21 y 22, se colocó en la parte trasera de la estructura el ducto de calefacción, en el interior del ducto lleva la turbina de aire ubicada en la parte superior y la resistencia calentadora de aire la cual se ubica de manera diagonal debajo de la turbina.

Figura 21.

Ducto de calefacción.



Figura 22.

Turbina y resistencia de aire instaladas.



Una vez terminada la estructura principal de la cabina UV, se construyó la puerta de la cabina y después se realizó la tapa de la parte superior. Para asegurar la hermeticidad de la puerta se puso un empaque siliconado de alta temperatura de 3 cm de grosor, también se hizo el proceso de hermetizado de la cabina UV.

Figura 23.

Puerta sección UV.



Figura 24.

Tapa de cabina UV.



Posteriormente se puso el aislamiento con la fibra de vidrio en las cuales se dejó un grosor de 2", se consideró este espesor suficiente para evitar la pérdida de calor durante el proceso de calefacción, la capa de aislamiento se puso entre la estructura interna y externa de la cámara UV y de igual manera entre la estructura interna y externa del ducto. Antes de aislar completamente la cámara se hizo la instalación de las boquillas aspersoras, de igual manera se realizó la instalación de las lámparas de radiación UV.

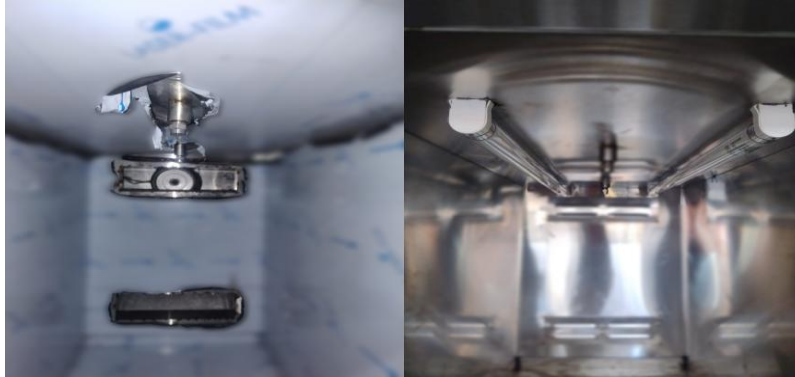
Figura 25.

Aislamiento de cabina UV.



Figura 26.

Instalación de aspersores y lámparas.



4.2.10 Sistema de Aspersión

Luego de la instalación de las boquillas y lamparas se terminó de construir el sistema de aspersión el cual consta de la tubería, la bomba, sensores de nivel, tanques de almacenamiento, bobinas para el paso de agua, las resistencias electricas y valvula antiretorno. Como primer paso para este subsistema se empezó por la adquisición de los tanques de almacenamiento de agua los cuales cuentan con medidas de 20 cm de diámetro con una altura de 30 cm, con material en acero inoxidable.

Figura 27.

Tanque de almacenamiento de agua.



Continuando con el ensamblaje se hizo la conexión de tuberías entre los tanques y la bomba para ello se hizo oxicorte con lapiz a carbon para realizar los agujeros en los tanques y aplicar soldadura TIG para unir niples, luego realizó la conexión de tuberías, además, se hizo orificios de venteo o alivio en los tanques para que se mantengan a presión atmosférica y evitar sobrepresiones.

Luego, se hizo un subsistema de by-pass, debido al bajo caudal que requieren las boquillas es necesario retornar algo del flujo impulsado por la bomba para que la misma no tenga sobrecalentamientos y aumento en el amperaje. Durante el mismo proceso se hizo la adaptación para poder acoplar la resistencia al tanque, de igual manera para el sensor de nivel y se hizo el aislamiento de los tanques con material Yumbolon de 1.5 cm.

Figura 28.

Acople de bomba, tanques, subsistema de bypass y aislamiento de tanques.



Figura 29.

Orificio de venteo.



Figura 30.

Instalación de resistencia.

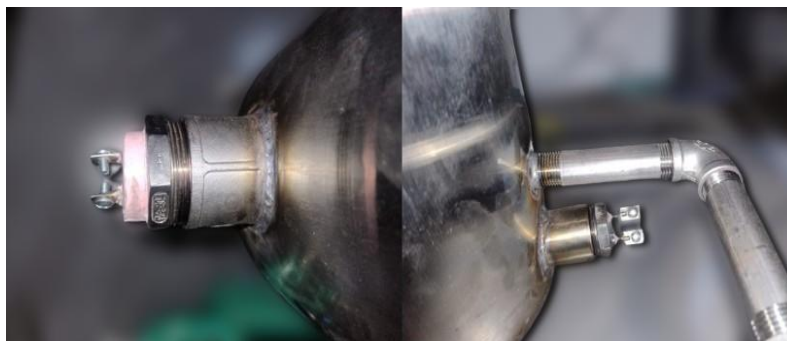


Figura 31.

Instalación de sensores de nivel.



Luego de adecuar los sensores de nivel se hizo la colocación de los sensores de temperatura, se utilizaron para el subsistema de aspersión la termocupla de 10 cm. La termocupla de 1.5 cm va al interior de la cabina. Posteriormente se hizo el acople de la valvula antiretorno y las bobinas para el paso de agua.

Figura 32.

Adecuación se sensores de temperatura.



Figura 33.

Válvula antirretorno y solenoides para el paso de agua.



Una vez terminado el subsistema de riego, se integraron la cabina y el sistema de riego sobre la mesa auxiliar para unificar la sección UV. La mesa es de material de acero al carbono, cuenta con dimensiones de 50.2 cm de ancho, 89.2 cm de alto y 111.4 cm de largo. Además cuenta con cubiertas laterales para proteger del ambiente el sistema de riego y se acoplaron el porta probetas y la rejilla de desagüe.

Figura 34.

Hermetizado y acople de rejilla de desagüe y porta probetas.

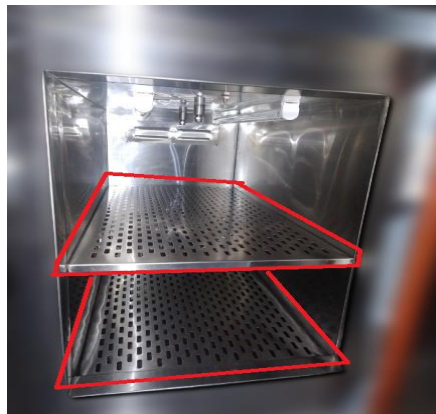


Figura 35.*Cabina, mesa y sistema de aspersion.***Tabla 16.***Elementos principales de la cámara salina.*

Elementos	Cantidad	Numero en diagrama
Sistema de aire comprimido	1	1
Electroválvulas	2	2
Tanque Humidificador	1	3
Resistencia eléctrica-tanque humidificador	1	4
Sensor de temperatura-tanque humidificador	1	5
Estructura de la cámara	1	7
Boquilla	1	8
Sensor de humedad-Cámara	1	9
Sensor de temperatura-Cámara	1	10
Resistencia eléctrica-Cámara	1	11
Bomba peristáltica	1	12
Tanque de solución	1	13

Es relevante aclarar que el número de lista de los elementos mostrados en la tabla anterior fue asignado de acuerdo con el diagrama ilustrativo de la sección mostrado en el apéndice G.

4.2.11 Sistema de aire comprimido

Para el sistema de aire comprimido se estableció la cantidad de caudal y presión necesarias para el correcto funcionamiento de la boquilla atomizadora (ver ficha técnica en el Apéndice L). Considerando los largos ciclos de operación continua a los que será sometida la cámara de niebla salina, se optó por la implementación de dos compresores conectados en paralelo, con el fin de alternar su funcionamiento y así aumentar los tiempos de descanso, evitando el sobrecalentamiento de los equipos y garantizando la confiabilidad operativa del sistema.

Los compresores seleccionados son de tipo silencioso, adecuados para ambientes de laboratorio, y su funcionamiento se encuentra controlado mediante dos electroválvulas y un temporizador que definen los intervalos de trabajo y reposo. Los equipos utilizados son los siguientes:

- Compresor 1: Ranger Pro modelo EWS-1524T, capacidad del tanque de 24 L, presión máxima de 8 bar (115 psi), potencia de 1.5 kW (2 HP) y caudal nominal de 251 L/min.
- Compresor 2: I.O. Tools modelo IO01030, capacidad del tanque de 30 L, presión de 8 bar (115 psi), potencia de 550 W y caudal nominal de 60 L/min.

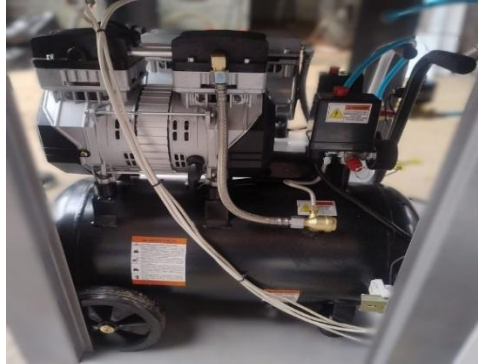
Figura 36.

Compresor I.O. Tools.



Figura 37.

Compresor Ranger Pro.



Asimismo, según lo indicado en la norma ASTM B117-19, sección 9.1, el aire comprimido empleado en la cámara de niebla salina debe ser limpio, seco y libre de contaminantes. En cumplimiento de esta exigencia, el sistema incorpora un filtro PNEUCUBE modelo A1-4000-04, encargado de eliminar partículas y condensados presentes en el flujo de aire. Este componente asegura que el aire suministrado a la boquilla atomizadora mantenga la calidad requerida por la norma, evitando la introducción de impurezas que puedan alterar la composición o la homogeneidad de la niebla salina durante el ensayo.

Figura 38.

Filtro Pneucube.



4.2.12 Electroválvula

Para el funcionamiento en paralelo de los compresores se implementaron dos electroválvulas de solenoide SPK, modelo 2W160-15, Estas válvulas permiten dirigir el flujo de aire hacia el compresor activo y aislar el inactivo, garantizando un funcionamiento alternado y equilibrado de los equipos, lo cual reduce el desgaste y extiende su vida útil.

Figura 39.

Electroválvulas SPK.



4.2.13 Tanque humidificador

De acuerdo con lo establecido en el apartado 9.2 de la norma B117-19, el sistema debe contar con un tanque humidificador o tanque de burbujas, cuya función es agregar humedad al aire comprimido con el propósito de garantizar la formación de una niebla húmeda y alcanzar una humedad relativa superior al 95% en la cámara salina.

El tanque fue diseñado con un diámetro de 21 cm y una altura de 30 cm con un volumen aproximado de 10 litros, fabricado en lámina de acero inoxidable calibre 20 material que ofrece resistencia a la corrosión y facilidad de limpieza.

La dimensión del diámetro se determinó considerando el espacio necesario para la instalación de la resistencia eléctrica y la conexión de las líneas de entrada y salida del aire comprimido. Por su parte, la altura de la cámara se definió de manera que la resistencia eléctrica permanezca completamente sumergida en todo momento y que se disponga de una columna de agua suficiente para permitir una adecuada transferencia de humedad al aire.

El sistema del tanque humidificador está compuesto por los siguientes elementos:

- Resistencia eléctrica: encargada de calentar el agua para favorecer la humidificación del aire.
- Entrada de aire comprimido: el aire es inyectado a través de una piedra porosa o silenciador, que divide el flujo en microburbujas, aumentando el área de contacto aire-agua y, por tanto, la eficiencia en la ganancia de humedad.
- Sensor de temperatura: permite el control automático de la resistencia eléctrica para mantener la temperatura del agua dentro del rango óptimo de operación.
- Visor de nivel: facilita la monitorización visual del nivel de agua dentro del tanque para evitar el funcionamiento en seco de la resistencia.

Finalmente, el tanque se encuentra recubierto con material aislante Yubolom, lo cual reduce la transferencia de calor al ambiente y mejora la eficiencia térmica del sistema, garantizando una humidificación más estable y un menor consumo energético.

Figura 40.

Tanque humidificador.



4.2.14 Resistencia eléctrica- Tanque humidificador

Se hace necesaria la implementación de una resistencia eléctrica dentro del tanque humidificador, con el propósito de elevar la temperatura del agua utilizada en tanque. De esta manera, el aire comprimido no solo adquiere un mayor nivel de humidificación, sino que también el aire alcanza la temperatura requerida para asegurar el correcto desempeño de la cámara de ensayo. Esta disposición responde a lo establecido en la norma ASTM B117-19, específicamente en la sección 9.2, donde se señalan las condiciones térmicas necesarias para el adecuado desarrollo de las pruebas de niebla salina.

Se seleccionó una resistencia eléctrica de 1500 W y que opera a 110 V. La elección de este componente se fundamentó en criterios de diseño previamente establecidos y los cálculos técnicos correspondientes.(Apéndice H).

Figura 41.

Resistencia de tanque humidificador.



4.2.15 Sensor de Temperatura- Tanque humidificador

En el tanque humidificador se implemento un sensor de temperatura para el control de la resistencia electrica del tanque humidificador con el fin de monitorear y controlar la temperatura del agua en el mismo. Se seleccionó una Termocupla tipo J brinda una sensibilidad alrededor de $50 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ con un bulbo 10 cm en acero inoxidable adecuado para el ambiente húmedo que se presenta en el tanque. De la marca EBCHQ.

Figura 42.

Sensor de temperatura.



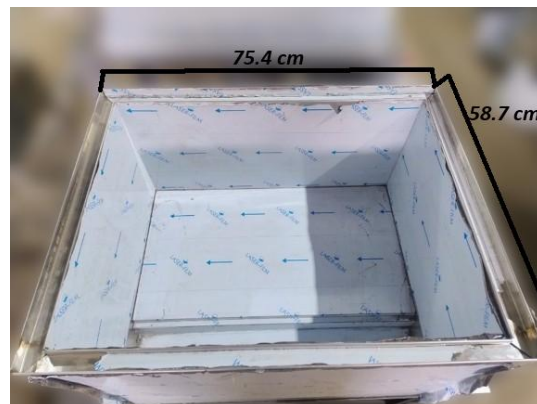
4.2.16 Estructura de la cámara

La estructura principal de la cámara de niebla salina está compuesta por una caja interna y una caja externa, ambas fabricadas en acero inoxidable calibre 20, material seleccionado por su alta resistencia a la corrosión, facilidad de limpieza y durabilidad frente a la exposición continua a la niebla salina, de igual manera la cámara cuenta con una tapa en acrílico.

Las dimensiones de la caja interna fueron definidas con base en los lineamientos establecidos por la norma ASTM B117-19, específicamente en la figura 1, donde establecen las distancias mínimas requeridas para la ubicación de los recolectores de niebla. En cumplimiento de estos criterios, la cámara presenta dimensiones internas de 68,5 cm de ancho, 52,5 cm de profundidad y 33,5 cm de altura, garantizando el espacio necesario para el flujo homogéneo de niebla y la disposición correcta de las probetas dentro del área de exposición. Entre las paredes interna y externa se incorporó un aislante de fibra de vidrio, cuya función es reducir las pérdidas térmicas, mantener la temperatura interna estable. (Apéndice G)

Figura 43.

Estructura de cámara salina



La tapa superior de acrílico fue diseñada siguiendo lo indicado norma ASTM B117-19, la cual establece que la cubierta debe permitir que las gotas de condensación escurran hacia los bordes, evitando que caigan directamente sobre las muestras durante el ensayo, En las dimensiones generales de tapa, posee un ancho de 72,75 cm, una profundidad de 56,25 cm y una altura máxima de 28 cm, con faldones laterales de 10cm con un espesor de 8mm en toda su estructura, su geometría de doble faldon con un ángulo 115° garantiza que las gotas de condensación se deslicen hacia los bordes sin caer directamente sobre las muestras. el material acrílico que permite visualizar el interior durante la operación facilitando el control del ensayo. La cámara cuenta con un volumen total de la cámara aproximado de 210 litros.

Figura 44.

Tapa de acrílico.



4.2.17 Boquilla

Para la generación de la niebla salina en la cámara se seleccionó una boquilla atomizadora aire-agua de la marca Verlek fabricada en acero inoxidable, que satisface los requisitos normativos

de caudal de aire, flujo de agua y presiones establecidos en la Tabla X1.1 del apéndice de la norma ASTM B117-19. Además, esta boquilla es graduable y permite la incorporación de diferentes cabezales, lo que facilita ajustar el patrón y la calidad de atomización de acuerdo con las condiciones específicas del ensayo. Esta característica asegura la generación de una niebla fina y homogénea, indispensable para garantizar la humidificación adecuada en la cámara salina. En el apéndice L se puede apreciar la información técnica de la boquilla.

Figura 45.

Boquilla aire-agua.



4.2.18 Sensor de humedad- Cámara

Para monitorear la humedad relativa dentro de la cámara de niebla salina se implementó un termohigrómetro digital 5070C, que integra sonda para medición de temperatura y humedad (– 50 °C a 70 °C y 10 % a 99 % HR, precisión de ± 5 % en humedad) según la especificación del fabricante. Este sensor permite observar en tiempo real los niveles de humedad y temperatura alcanzados, lo cual es esencial para verificar el cumplimiento del requisito de humedad relativa superior al 95 %, establecido por la norma ASTM B117-19 en el ensayo de cámara salina. El dispositivo se encuentra instalado en un punto representativo de la cámara, garantizando que las

mediciones reflejen las condiciones del aire expuesto a los especímenes. Con estos datos, el sistema de control puede ajustar la resistencia eléctrica, el caudal de solución o el funcionamiento de los compresores para mantener las condiciones óptimas durante todo el ensayo.

4.2.19 Sensor de temperatura-Cámara

Para la medición de temperatura en la cámara salina se seleccionó una Termocupla tipo J que nos brinda una sensibilidad alrededor de $50 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ con un bulbo 10 cm en acero inoxidable adecuado para el ambiente corrosivo que se presenta en la cámara. De la marca EBCHQ por su disponibilidad local y compatibilidad con el sistema de control.

Figura 46.

Sensor de temperatura.



4.2.20 Resistencia eléctrica- Cámara

Se implementa una resistencia eléctrica dentro de la cámara salina con la finalidad de tener un ambiente homogéneo para compensar el efecto de enfriamiento de la expansión a presión atmosférica durante el proceso de atomización a la salida de la torre de saturación.

Se seleccionó una resistencia eléctrica de 1500 W y que opera a 110 V. La elección de este componente se fundamentó en criterios de diseño previamente establecidos y los cálculos técnicos correspondientes.(Apéndice H)

Figura 47.

Resistencia eléctrica cámara salina.



4.2.21 Bomba peristáltica

Para el suministro de la solución salina desde el tanque de solución hacia la boquilla, se seleccionó una bomba peristáltica Kompact modelo AML 200, diseñada para operar con una potencia de 20 W y un rango de presión comprendido entre 8 y 10 bar. Esta bomba ofrece un caudal ajustable entre 3 y 5 L/h, lo que permite regular con precisión la cantidad de solución suministrada, garantizando una atomización uniforme en la cámara de ensayo. Su diseño peristáltico asegura que el fluido únicamente entre en contacto con el tubo flexible, evitando la corrosión de los componentes internos y prolongando la vida útil del equipo. Además, cuenta con

un sistema de flujo variable regulado mediante perilla, que facilita el ajuste del caudal según las condiciones operativas requeridas por la norma ASTM B117-19. En el apéndice L se tiene la información técnica.

Figura 48.

Bomba peristáltica.

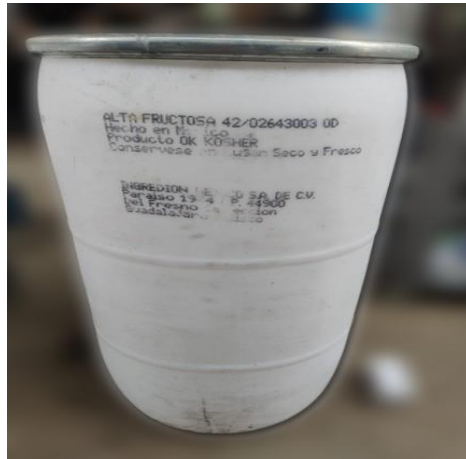


4.2.22 Tanque de solución

Para el almacenamiento de la solución salina se empleó un tanque plástico de 280 litros de capacidad, el cual actúa como depósito principal del sistema. Este volumen permite mantener una autonomía de operación estimada entre 56 y 93 horas, dependiendo del caudal ajustado en la bomba peristáltica. El tanque fue seleccionado por su resistencia a la corrosión y compatibilidad química con soluciones salinas, además de su bajo peso y facilidad de mantenimiento.

Figura 49.

Tanque de solución.



4.2.23 Torre de niebla

De acuerdo con lo establecido en la norma ASTM B117-19, sección X1.1.3, Para el sistema de niebla se incorpora una torre atomizadora o torre de niebla. Este componente tiene la función de distribuir homogéneamente la solución salina dentro de la cámara, garantizando una exposición uniforme sobre las muestras.

En este diseño se implementa una torre vertical en la que se inyecta la solución salina a través de la boquilla y al final de esta torre un cono distribuidor, que permite una dispersión uniforme de la niebla. De esta manera, se asegura que la solución no caiga directamente sobre las muestras, cumpliendo con lo requerido en la sección 10.3 de la norma ASTM B117-19.

Figura 50.

Torre de niebla salina.



4.2.24 Porta muestras

De acuerdo con los lineamientos establecidos en la norma ASTM B117-19, sección 7.1.1, las probetas deben colocarse en soportes o porta muestras que mantengan una inclinación entre 15° y 30° respecto a la vertical, además de estar fabricados en un material inerte que no altere los resultados del ensayo ni reaccione con el ambiente salino. En cumplimiento de este requerimiento, se diseñó y fabricó mediante impresión 3D un porta muestras con dimensiones de 38x24 cm, capaz de alojar 20 probetas durante el ensayo. Este diseño permite asegurar la orientación adecuada de las muestras, garantizar una exposición uniforme a la niebla salina y mantener la estabilidad mecánica dentro de la cámara de prueba. En el apéndice X se puede apreciar el plano de diseño.

Figura 51.

Porta probetas cámara salina.



4.2.25 Ensamble de la cámara salina

4.2.25.1 Ensamble y Construcción de la estructura. El cuerpo principal de la cámara se construyó siguiendo las dimensiones especificadas en el diseño, cumpliendo de los parámetros geométricos requeridos para la correcta construcción. La estructura está conformada por una caja interna y una caja externa, ambas fabricadas en acero inoxidable calibre 20, Para la unión de los paneles se utilizó soldadura TIG (Tungsten Inert Gas), debido a que este proceso ofrece cordones limpios, resistentes y libres de impurezas, ideales para materiales inoxidables.

Posteriormente, todas las juntas fueron hermetizadas con silicona para alta temperatura, con el objetivo de evitar fugas de vapor o solución salina hacia el exterior y mantener el aislamiento térmico de la cámara.

Se realizó la instalación de la tapa acrílica, colocando un canal perimetral de sello para hermetizar la cámara y evitar las fugas de niebla, también se instala unas bisagras para la apertura la de la misma, también se instalan el sensor de temperatura y humedad correspondientes mencionados en el diseño.

Figura 52.

Ensamble tapa acrílica.



La estructura principal de la cámara se diseñó para soportar el montaje de los diferentes sistemas que componen el equipo. Sobre esta se realizó la instalación de la cámara de ensayo, el sistema de aire comprimido, el sistema de suministro de solución salina y el tablero de control, los cuales se integran de manera funcional para conformar el conjunto general del sistema. La estructura cuenta con dimensiones de 105 cm de largo, 64 cm de ancho y 60 cm de alto, y su diseño puede apreciarse en el Apéndice G.

Figura 53.

Estructura principal cámara salina



4.2.25.2 Ensamble sistema del aire comprimido. En el sistema de aire comprimido se instalaron los dos compresores en paralelo dentro de la estructura principal de la cámara: el compresor I-Tool (C1) y el compresor Ranger (C2). Como se indica en el diseño.

Ambos compresores se controlan mediante electroválvulas de ½” en acero inoxidable, que permiten conmutar el flujo de aire entre cada unidad de forma automática según el ciclo de trabajo establecido durante la etapa de calibración. Estos ciclos fueron definidos para optimizar el desempeño del sistema, alternando periodos de descarga, trabajo y descanso para cada compresor, evitando sobrecalentamiento y desgaste prematuro.

Tabla 17.

Ciclos de funcionamiento de compresores.

Etapa	Compresor (C1)	Compresor Ranger (C2)
Descarga	51	47
Trabajo	190	202
Descanso	168	158

Figura 54.

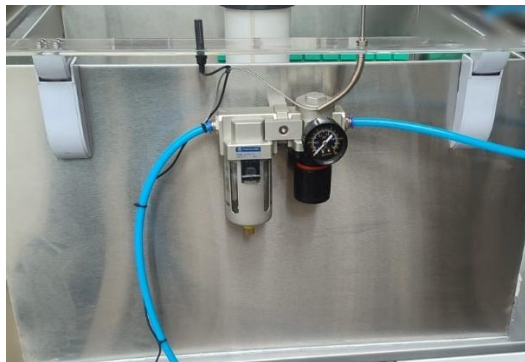
Compresores en paralelo.



Posterior a la instalación de los compresores, se incorporó el filtro PNEUCUBE modelo A1-4000-04, el cual cumple la función de regular la presión de aire y limpiar de impurezas el aire comprimido. Este componente integra un regulador con manómetro y trampa de condensados, garantizando que el aire comprimido suministrado limpio antes de ingresar al tanque humidificador.

Figura 55.

Instalación filtro de aire.



Posteriormente, se llevó a cabo la construcción e instalación del tanque humidificador sobre la estructura general del equipo. En esta etapa se realizó el ensamble de la resistencia eléctrica de calentamiento, así como la conexión de las líneas de entrada y salida de aire comprimido y sensor de temperatura indicado en el diseño. En la entrada de aire se instaló un silenciador o piedra porosa, elemento que cumple la función de distribuir el flujo de aire comprimido en múltiples burbujas de pequeño diámetro, aumentando la superficie de contacto con el agua y favoreciendo la transferencia de humedad hacia el flujo de aire.

Figura 56.

Silenciador.



Además, el tanque fue revestido externamente con aislante térmico tipo Yumbolon, tal como se especificó en el diseño, con el fin de minimizar las pérdidas de calor y mantener la estabilidad térmica del sistema.

Figura 57.

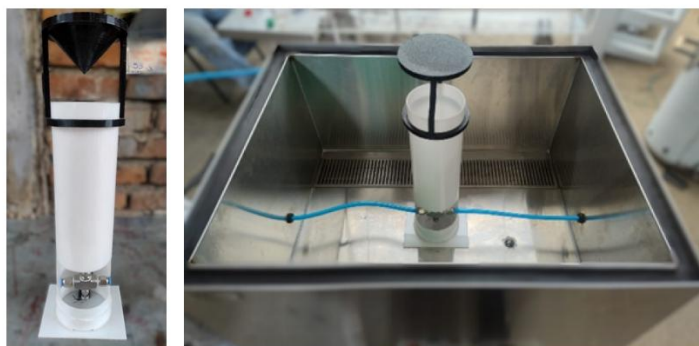
Tanque humidificador.



Posteriormente, se efectuó la instalación de la boquilla, la cual fue ensamblada en la torre de niebla ubicada en el interior de la cámara de ensayo. La ubicación de la boquilla dentro de la torre asegura que el flujo generado no impacte directamente sobre las muestras, cumpliendo con los requerimientos establecidos en la norma ASTM B117-19 para la correcta formación y dispersión de la niebla salina.

Figura 58.

Torre de niebla.

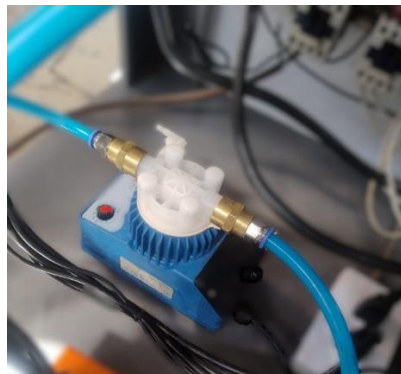


4.2.25.3 Ensamble sistema de suministro de solución. En esta etapa se llevó a cabo la instalación de la bomba peristáltica, encargada de succionar la solución salina desde el tanque de almacenamiento y suministrarla hacia la boquilla ubicada dentro de la torre de niebla en el interior de la cámara salina.

La bomba peristáltica fue instalada en el interior de la estructura general, asegurando su protección y facilitando el acceso para mantenimiento. Este equipo permite regular el caudal de solución mediante una perilla de control, garantizando una dosificación precisa y constante acorde con los requerimientos operativos del sistema y los parámetros establecidos por la norma ASTM B117-19.

Figura 59.

Acople de bomba peristáltica en sistema de suministro.



El sistema se complementa con el tanque de almacenamiento de solución salina de 280 litros, fabricado en material plástico resistente a la corrosión.

4.2.26 Sistema Eléctrico y Tableros de Control

Avanzando con el proceso se hizo el montaje del sistema eléctrico y de control, para ello se hizo el tablero de control en la mesas de la cámara UV y Cámara salina. Luego de adecuar el espacio para el tablero de control en la mesas, se hizo la perforación para colocar los elementos de control, inicialmente se colocaron los botones principales: parada de emergencia, encendido y stop.

Figura 60.

Botones de Encendido, apagado y emergencia.

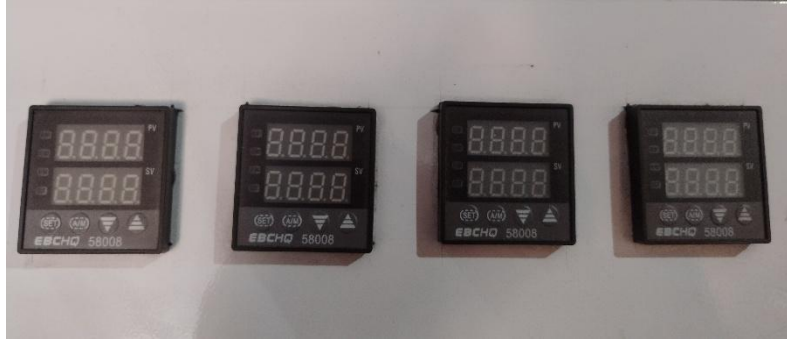


Luego se hizo el montaje de los pirometros, los cuales permiten ejercer el control sobre la temperatura en los tanques y cabinas, se establece un valor inicial de setpoint según se requiera y con las mediciones de los sensores el pirometro es el encargado de iniciar el proceso y mantenerlo.

Continuando con el proceso se hizo la adecuación para los temporizadores, para el sistema UV consta de 3 temporizadores, 2 de ellos para establecer el numero de horas que duraran la fase de radiación y la fase de condensación con un maximo de 12 horas por fase, el tercer temporizador es el tiempo el cual se va a repetir la prueba en horas, es decir, se establecerán la cantidad de ciclos según las horas que se programen en las fases, para el sistema salino consta de un solo temporizador en el cual se establece el número de horas de prueba.

Figura 61.

Pirómetros de control sección UV.

**Figura 62.**

Temporizadores sección UV.



Nota. Como se aprecia en la figura del lado izquierdo está el temporizador de numero de horas de duracion de ciclo en general y del lado derecho los temporizadores de duración de fase UV y condensación.

Figura 63.

Pirómetros y temporizador de sección salina.



Finalmente para completar los tableros de control se colocaron las luces indicativas de proceso.

Figura 64.

Tableros de control UV y sección salina.



Luego de realizar el montaje de los tableros de control se procedió a realizar las conexiones electricas necesarias para la potencia electrica que consumen todos los elementos y dispositivos de la cámara y para el control del proceso.

5. Validación de Funcionamiento del Equipo

Para validar el funcionamiento de la cámara UV y cámara salina se realizaron pruebas en ambas cámaras durante 48 horas para verificar el cumplimiento de los parámetros requeridos según los ensayos recomendados de las respectivas normas.

Para ello se realizó la prueba en la cámara salina. En la siguiente tabla se muestran los parámetros obtenidos en los ensayos de niebla salina junto con los valores exigidos por las normas ASTM B117. Se evaluaron 6 probetas de acero al carbono CR, 3 probetas sin recubrimiento y 3 con recubrimiento de pintura en aerosol en las cuales se evaluó la pérdida de masa después de la prueba, además, el cambio visual de cada probeta se comparó con una probeta de control.

Tabla 18.

Validación de parámetros exigidos en prueba de niebla salina.

Parametro	Valor según norma B117	Valores obtenidos	Validación
Humedad (%)	95% - 100%	98%	Valido
Presión (Psi)	5 - 25 Psi	10 Psi	Valido
Temperatura en cámara salina y tanque humidificador (°C)	35 °C ± 2.5	34 °C	Valido
Ph	6.5 - 7.2	7.1	Valido
Caudal Recolectado (ml/hr)	1 – 2 ml/hr	≈ 1.4 ml/hr	Valido
Probetas sin recubrimiento	D1: 54.5518 gr D2: 54.3678 gr D3: 54.0782 gr	D1: 52.4365 gr D2: 52.5363 gr D3: 52.3600 gr	Valido
Probetas con recubrimiento	C1: 54.9480 gr C2: 54.2588 gr C3: 55.2347 gr	C1: 54.7287 gr C2: 53.9177 gr C3: 54.9994 gr	Valido

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la prueba de niebla salina.

Figura 65.

Validación de humedad y presión.

**Figura 66.**

Validación de temperaturas en prueba salina y PH.

**Figura 67.**

Validación de caudal recolectado.

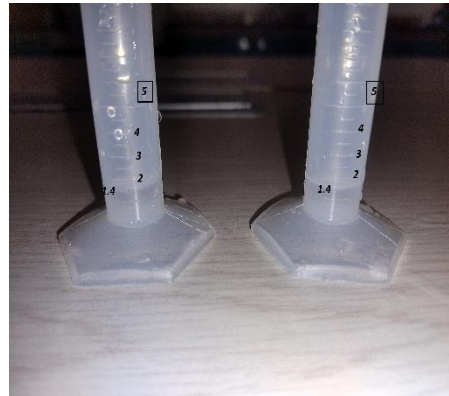


Figura 68.

Probetas sin recubrimiento después del ensayo de niebla salina.

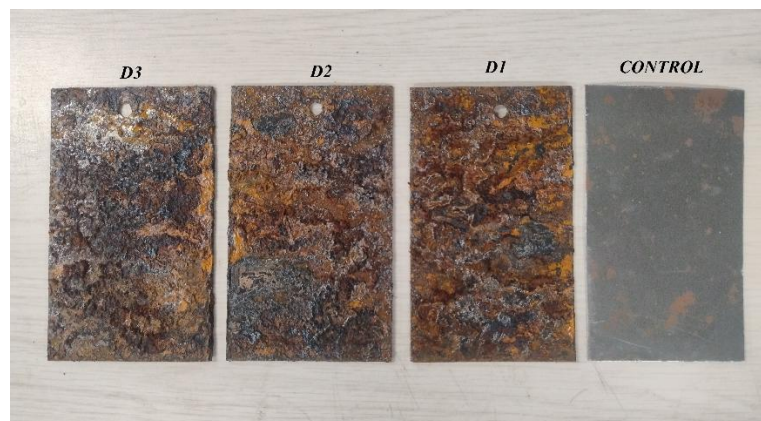


Figura 69.

Probetas sin recubrimiento después de limpieza de corrosión.

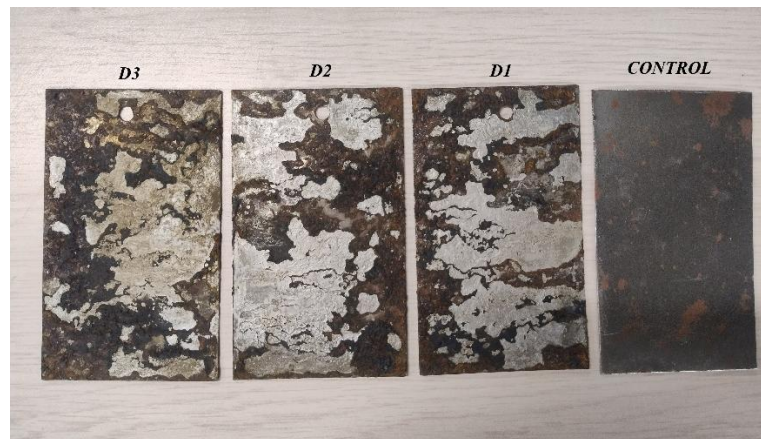


Figura 70.

Probetas con recubrimiento después de ensayo de niebla salina

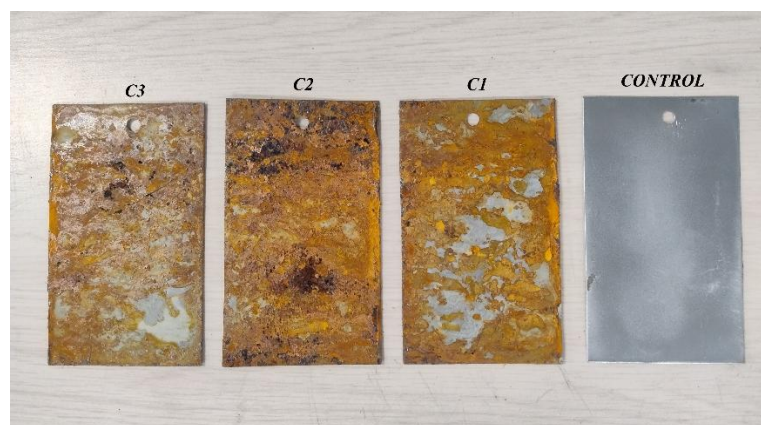
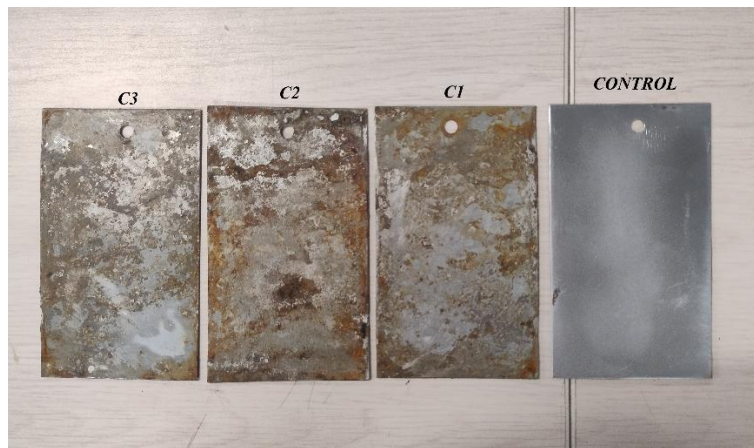


Figura 71.

Probetas con recubrimiento después de limpieza de corrosión.



En la siguiente tabla se muestran los parámetros manejados en los ensayos de radiación UV junto con los valores exigidos por las normas ASTM G151 y G154. Se evaluaron 3 probetas de material acero al carbono CR con recubrimiento de pintura en aerosol, en las cuales se evaluó la pérdida de masa después de la prueba, además, se validó el cambio visual comparando cada probeta con un espécimen de control.

Tabla 19.

Validación de parámetros exigidos en prueba de radiación.

Parametro	Valor según norma	Valores obtenidos	Validación
Temperatura en fase de aspersión (°C)	50 °C ± 2.5	52 °C	Valido
Temperatura en fase UV	70 °C ± 2.5	69° C	Valido
Radiación	340 - 351 nm	340 nm	Valido
Forma de humedad	Pulverización Aspersión Condensación	Aspersión fina	Valido
Probetas con recubrimiento	C1: 54.2774 gr C2: 55.1797 gr C3: 55.1705 gr	C1: 54.2079 gr C2: 55.1396 gr C3: 55.1342 gr	Valido

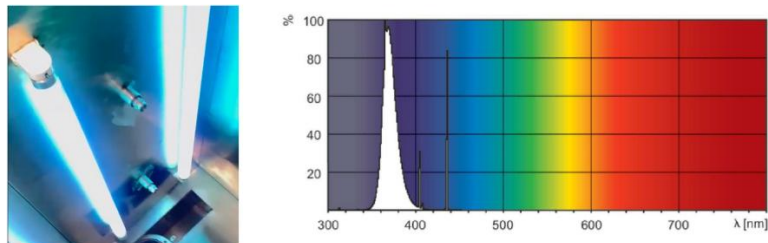
A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la prueba de radiación UV.

Figura 72.

Validación temperatura de fase de aspersión y fase UV.

**Figura 73.**

Validación radiación UV.

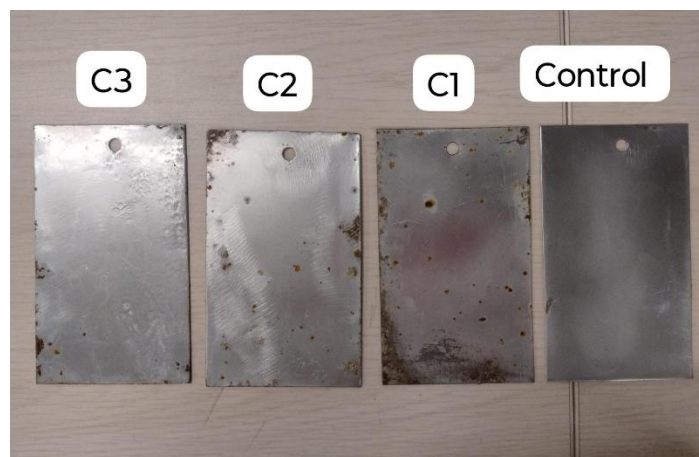
**Figura 74.**

Validación fase de aspersión.



Figura 75.

Probetas con recubrimiento después de ensayo de radiación UV.



6. Costo del Proyecto

Para establecer los gastos del proyecto se tuvo en cuenta los costos involucrados en cuanto a materiales, componentes, mano de obra, sistemas de control, que fueron requeridos durante el proyecto, la información fue suministrada por la empresa licitante la cual ejecutó la construcción del proyecto. A continuación, en la siguiente figura se observan los costos.

Figura 76.*Costos del proyecto.*

COSTOS TOTALES DE CÁMARA DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO		
N°	REFERENCIA	VALOR (COP)
1	Materiales cámara UV	
1.1	Ruedas para mueble de 3" tipo pesado	\$ 200.000,00
1.2	Mueble base en lamina cal 18 con pintura electrostatica, tapas removibles y rejillas con ventilación	\$ 2.500.000,00
1.3	Tablero de control e instalación eléctrica	\$ 7.000.000,00
1.4	Tanques de calentamiento en acero inoxidable 304, con aislamiento termico y resistencia calentadora	\$ 1.500.000,00
1.5	Electrobomba centrifuga	\$ 400.000,00
1.6	Tuberia y conexiones de agua con accesorios	\$ 600.000,00
1.7	Lampara de radiación UVA-340 importadas	\$ 6.000.000,00
1.8	Boquillas de aspersion	\$ 400.000,00
1.9	Aislamiento termico cabina	\$ 400.000,00
1.10	Sistema de calentamiento por aire forzado	\$ 1.000.000,00
1.11	Rejilla y portamuestras	\$ 150.000,00
1.12	Estructura de la cabina	\$ 3.000.000,00
1.13	Puerta completa	\$ 1.200.000,00
2	Materiales cámara salina	
2.1	Ruedas para mueble de 3" tipo pesado	\$ 200.000,00
2.2	Mueble base en lamina cal 18 con pintura electrostatica, tapas removibles y rejillas con ventilación	\$ 2.500.000,00
2.3	Tanque de solución 280L	\$ 350.000,00
2.4	Bomba peristaltica	\$ 2.500.000,00
2.5	Sistema de aire comprimido completo	\$ 4.000.000,00
2.6	Boquilla de aspersion aire/agua	\$ 180.000,00
2.7	Tablero de control e instalación eléctrica	\$ 6.000.000,00
2.8	Tanque humificador	\$ 2.000.000,00
2.9	Componentes en acrilico	\$ 700.000,00
2.10	Portamuestra y cono distribuidor de niebla	\$ 600.000,00
2.11	Conexiones neumaticas e hidraulicas	\$ 400.000,00
2.12	Resistencia de cámara salina en acero inox	\$ 200.000,00
2.13	Estructura de cámara salina	\$ 2.500.000,00
3	Mano de obra cabina UV	\$ 6.000.000,00
4	Mano de obra cámara salina	\$ 6.000.000,00
5	SUBTOTAL	\$ 58.480.000,00
6	IVA (19% del subtotal)	\$ 11.111.200,00
N°	REFERENCIA	VALOR (COP)
	TOTAL	\$ 69.591.200,00

7. Conclusiones

- En la interventoría del contrato FNTC-646-2023 FONTUR – UIS se pretenden evaluar pinturas y recubrimientos, es por ello, que se hizo el diseño y construcción de las cámaras de envejecimiento acelerado por radiación UV y niebla salina, las cámaras fueron diseñadas según las normas ASTM B117, G151 y G154.

- Durante el proceso de diseño de la cámara de radiación UV se establecieron los parámetros operativos y constructivos conforme a las especificaciones de las normas ASTM G151 y G154 los cuales son: temperatura ambiente de la cámara durante radiación UV a 70°C con una duración de 8 horas, fase de condensación por aspersion a temperatura ambiente de la cámara a 50°C durante 4 horas, material interno de la cámara en acero inoxidable y lámparas de radiación UV-A a 340 nm.

- Durante el proceso de diseño de la cámara de niebla salina se establecieron los parámetros operativos y constructivos conforme a las especificaciones de la norma ASTM B117 los cuales son: temperatura al interior de la cámara de 35°C, la presión del aire debe ser entre 5-25 psi, niebla salina húmeda, Ph de solución entre 6.5 y 7.2 y la cantidad de solución recolectada en la cámara debe ser entre 1-2 ml/hr.

- La construcción de las cámaras de envejecimiento se llevó a cabo siguiendo los requerimientos establecidos en la fase de diseño. Se realizó la validación del correcto funcionamiento de cámara salina y cámara de radiación UV en las condiciones establecidas de funcionamiento, se expuso probetas de material acero comercial CR con y sin recubrimiento durante 2 días en la cámara de niebla salina donde se evidenció pérdida de masa y corrosión, el mismo material con recubrimiento se evaluó en la cámara de radiación UV durante 2 días evidenciando pérdida de masa y corrosión.

- Se elaboró un manual de funcionamiento y mantenimiento, que servirá como guía para la correcta operación del equipo, garantizando su durabilidad, seguridad y fiabilidad en los futuros ensayos de corrosión y envejecimiento acelerado en cada cámara.

8. Recomendaciones

- ✓ Luego de enchufar la cámara UV a la fuente de energía se recomienda dar un lapso de 20-25 minutos para el llenado de los tanques de agua.
- ✓ Luego de enchufar la cámara salina a la fuente de energía se recomienda dar un lapso de 10-15 minutos para el llenado de los pulmones de los compresores.
- ✓ Utilice los respectivos elementos de protección personal (EPP) correspondientes a laboratorios.
- ✓ Antes de usar la cámara salina se recomienda drenar los pulmones de los compresores.
- ✓ Se recomienda no alterar los temporizadores para los compresores en paralelo.
- ✓ Se recomienda operar el equipo siguiendo el manual de funcionamiento y se debe elaborar la hoja de vida del equipo.
- ✓ Se recomienda seguir el plan de mantenimiento de la maquina y actualizar la respectiva hoja de vida.
- ✓ Se recomienda no alterar los temporizadores y controles de temperatura durante el funcionamiento en las cámaras.
- ✓ Se recomienda no exceder las temperaturas en los ciclos especificados en las normas correspondientes a las pruebas.
- ✓ Revise periódicamente el nivel de agua del tanque humidificador, de ser necesario haga el llenado con la maquina apagada.
- ✓ Revise periódicamente el nivel de solución en el tanque de agua salina, de ser necesario haga la preparación de la solución y realice el llenado del tanque.

Referencias Bibliográficas

- ASTM International. (2019a). *Standard Practice for Exposing Nonmetallic Materials in Accelerated Test Devices that Use Laboratory Light Sources 1*.
<https://doi.org/10.1520/G0151-19>
- ASTM International. (2019b). *Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus 1*.
<https://doi.org/10.1520/B0117-19>
- ASTM International. (2023a). *Practice for Fluorescent UV-Condensation Exposures of Paint and Related Coatings*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D4587-23>
- ASTM International. (2023b). *Standard Practice for Operating Fluorescent Ultraviolet (UV) Lamp Apparatus for Exposure of Materials 1*. <https://doi.org/10.1520/G0154-23>
- Autonics Corporation. (2025). *LE4S-manual*.
- Autonics Corporation. (Productor). (2017). Tutorial LE4S.
https://www.youtube.com/watch?v=Gc--f_kblmA
- Cabezas, D., Mejía, E. (2018). *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO PARA ENSAYOS DE CORROSIÓN*.
- Champion, F. (1970). ENSAYOS DE CORROSION. Ediciones Urmo
- Çengel, Y., Boles, M. (n.d.). *Termodinámica*.
- Çengel, Y., Ghajar, A. (n.d.). *Transferencia de Calor y Masa 4ta ed.*
- Espinosa, D. (2007). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO POR TEMPERATURA PARA POLÍMEROS INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS*

EXTRACTIVAS PROYECTO DE INVESTIGACIÓN “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO POR TEMPERATURA PARA POLÍMEROS” ASESOR: ING. ROSA MARIA PERALTA HUITRADO.

Fernández, R., Sánchez, R., Granados, B., & Garcia, J. (2018). *Corrosión*.

Flores, M., Flores, I., Barajas, Urriolagoitia, G., Romero, B., Urriolagoitia, G., & Lara, A. (2021). *Envejecimiento de Materiales “Diseño de equipo para el desarrollo de envejecimiento acelerado en materiales metálicos.”*

León, F., Lorente, D. (2004). *MANUAL BÁSICO DE CORROSIÓN PARA INGENIEROS FÉLIX CESÁREO GÓMEZ DE LEÓN HIJES.*

Parada, Zambrano, Cabrera, & Tapia. (2021). *Ciencias del arte Artículo de investigación*. 7, 234–250. <https://doi.org/10.23857/dc.v7i2.1793>

Price, D. (1995). Weathering and weathering processes. In *Quarterly Journal of Engineering Geology* (Vol. 28). <https://www.lyellcollection.org>

Salazar, J. (2015). *Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales (Nota técnica) Introduction to Corrosion Phenomena: Types, Influencing Factors and Control for Material’s Protection (Technical note).*

Taraborelli, C., Refort, M., Spavento, E., Maly, L., Acuña, L., Camera, R., & Keil, G. (2020). Evaluación de tratamientos superficiales en madera expuesta a condiciones de intemperismo natural. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 119(1), 039. <https://doi.org/10.24215/16699513e039>

TECSUD (2024). Cámaras de envejecimiento acelerado UV. <https://www.tecsud.com/producto/quv/>

TECSUD (2024). Cámara de niebla. <https://www.tecsud.com/producto/qct/>

TECSUD (2024). Cámara de radiación solar. <https://www.tecsud.com/producto/q-sun-xe-1/>

Vazquez, M. V. (2014). *La corrosión El peor de los villanos cuando dominan los metales.*

Apéndices

Apéndice A.

Especificaciones para ensayos de envejecimiento acelerado por radiación UV.

Ciclo	Lámpara	Irradiancia típica	Longitud de onda aproximada	Ciclo de exposición	Información adicional sobre la referencia original y la aplicación, cuando se conozca
1	UVA-340	0,89 W/(m ² nm)	340 nm	8 h UV a 60 (±3) °C de temperatura del panel negro; 4 h de condensación a 50 (±3) °C de temperatura del panel negro	D4329 ciclo A para plásticos generales; D4587 ciclo 4 para recubrimientos metálicos generales; C1442 para selladores
2	UVB-313	0,71 W/(m ² nm)	310 nm	4 h UV a 60 (±3) °C de temperatura del panel negro; 4 h de condensación a 50 (±3) °C de temperatura del panel negro	Desconocido
3	UVB-313	0,49 W/(m ² nm)	310 nm	8 h UV a 70 (±3) °C de temperatura del panel negro; 4 h de condensación a 50 (±3) °C de temperatura del panel negro	SAE J2020

4	UVA-340	1,55 W/(m ² nm)	340 nm	8 h UV a 70 (±3) °C de temperatura del panel negro; 4 h de condensación a 50 (±3) °C de temperatura del panel negro	Desconocido
5	UVB-313	0,62 W/(m ² nm)	310 nm	20 h UV a 80 (±3) °C de temperatura del panel negro; 4 h de condensación a 50 (±3) °C de temperatura del panel negro	Desconocido
6	UVA-340	1,55 W/(m ² nm)	340 nm	8 h UV a 60 (±3) °C de temperatura del panel negro; 4 h de condensación a 50 (±3) °C de temperatura del panel negro.	Desconocido
7	UVA-340	1,55 W/(m ² nm)	340 nm	8 h UV a 60 (±3) °C de temperatura del panel negro; 0,25 h de pulverización de agua (sin luz), temperatura no controlada; 3,75 h de condensación a 50 (±3) °C de temperatura del panel negro	Desconocido
8	UVB-313	28 W/m ²	270 nm a 700 nm	8 h UV a 70 (±3) °C de temperatura del panel negro; 4 h de condensación a 50 (±3) °C de temperatura del panel negro	Desconocido

Nota. El apéndice muestra los ciclos y condiciones de operación para la prueba de envejecimiento acelerado por radiación UV. (ASTM International, 2023b)

Apéndice B.

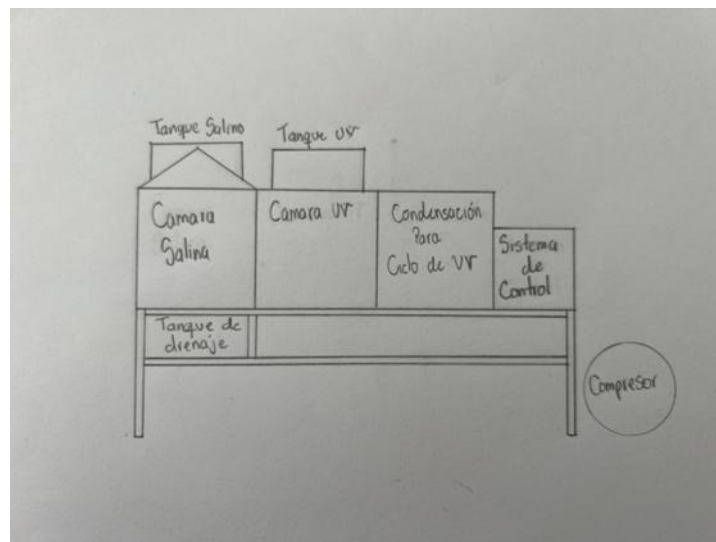
Especificaciones para ensayo de corrosión por radiación UV en recubrimientos.

Número de ciclo	Descripción del ciclo	Irradiancia ^B de 340 nm	Temperatura del panel negro ^C	Usos típicos ^D
1	8 h UV 4 h condensación	0,83 W/(m ² · nm) período oscuro	70 °C ± 2,5 °C (158 °F ± 5 °F) 50 °C ± 2,5 °C (122 °F ± 5 °F)	Recubrimientos automotrices ^E
2	4 h UV 4 h condensación	0,89 W/(m ² · nm) período oscuro	60 °C ± 2,5 °C (140 °F ± 5 °F) 50 °C ± 2,5 °C (122 °F ± 5 °F)	Recubrimientos de mantenimiento industrial ^F
3	4 h UV 20 h condensación	0,89 W/(m ² · nm) período oscuro	60 °C ± 2,5 °C (140 °F ± 5 °F) 50 °C ± 2,5 °C (122 °F ± 5 °F)	Recubrimientos de madera para exteriores
4	8 h UV 4 h condensación	0,89 W/(m ² · nm) período oscuro	60 °C ± 2,5 °C (140 °F ± 5 °F) 50 °C ± 2,5 °C (122 °F ± 5 °F)	Recubrimientos metálicos generales

Nota. En el apéndice mostrado se puede observar las especificaciones de radiación solar, temperatura y humedad para los respectivos ensayos, adicionalmente, se muestra el tipo de recubrimiento respectivo para cada ciclo.(ASTM International, 2023a).

Apéndice C.

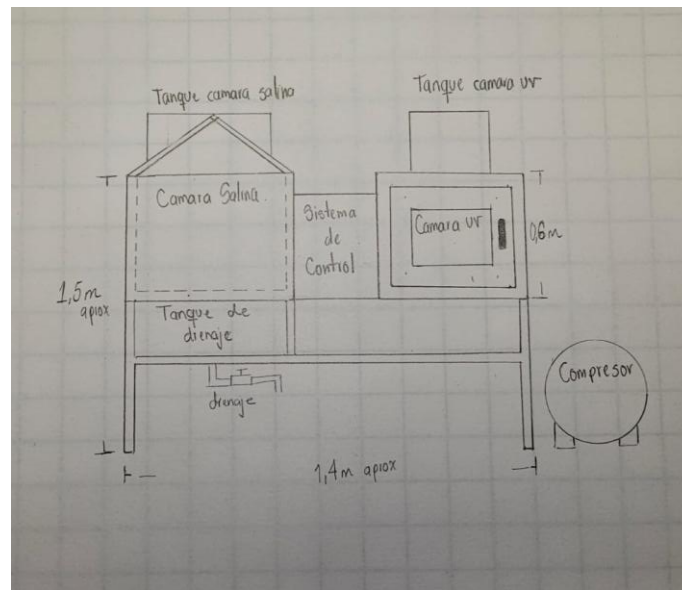
Alternativa de diseño 1.



Nota. En la figura se puede observar el boceto de la alternativa de diseño 1.

Apéndice D.

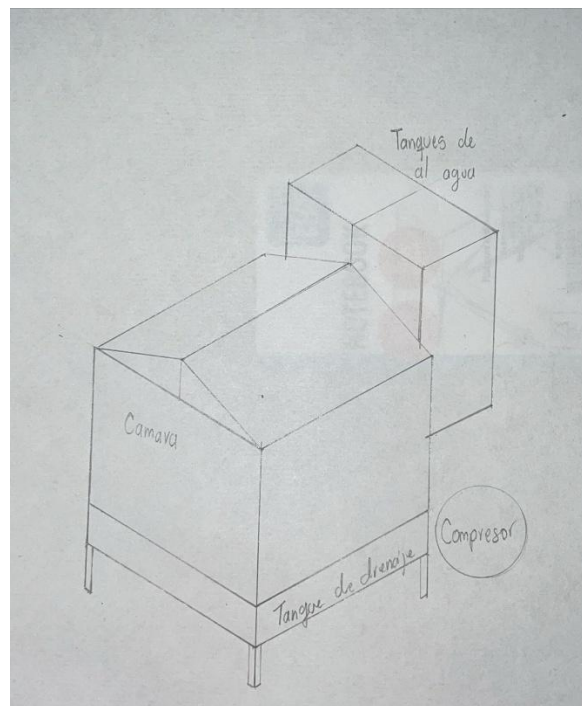
Alternativa de diseño 2



Nota. En el apéndice se puede detallar la alternativa de diseño 2.

Apéndice E.

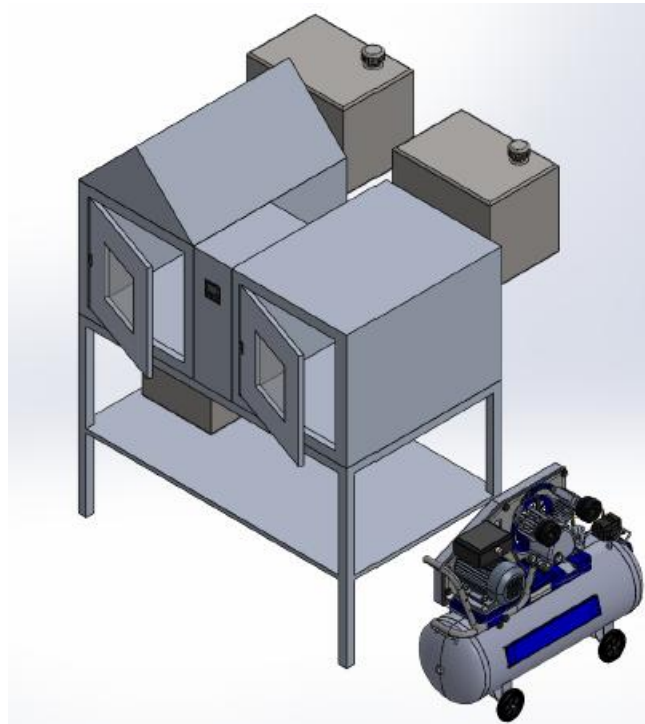
Alternativa de diseño 3.



Nota. En el apéndice se muestra la alternativa de diseño 3.

Apéndice F.

Vista isométrica alternativa de diseño 2.

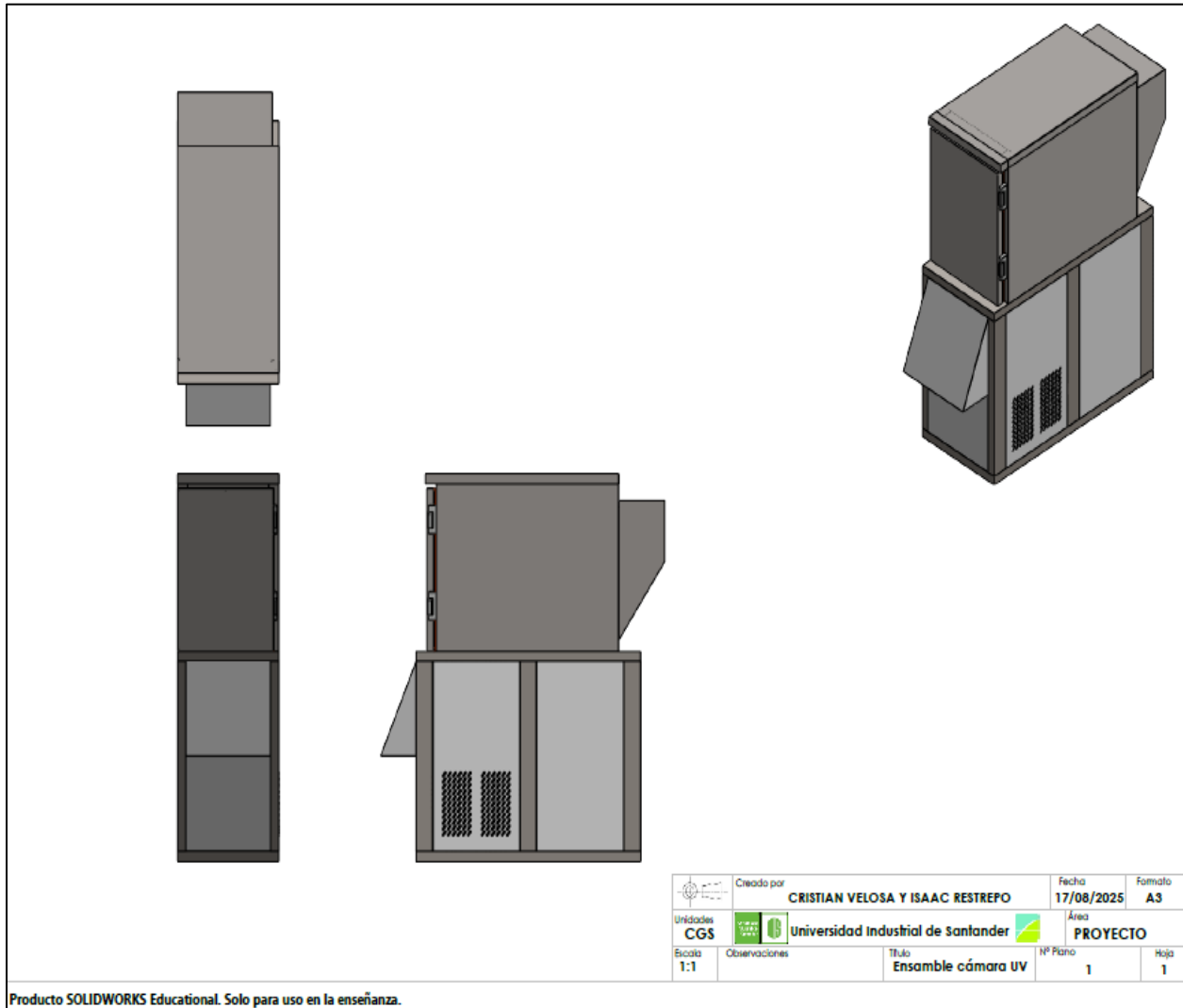


Nota. La estructura de la maquina fue realizada por los autores. Compresor tomado de <https://grabcad.com/library/air-compressor-1hp-1>

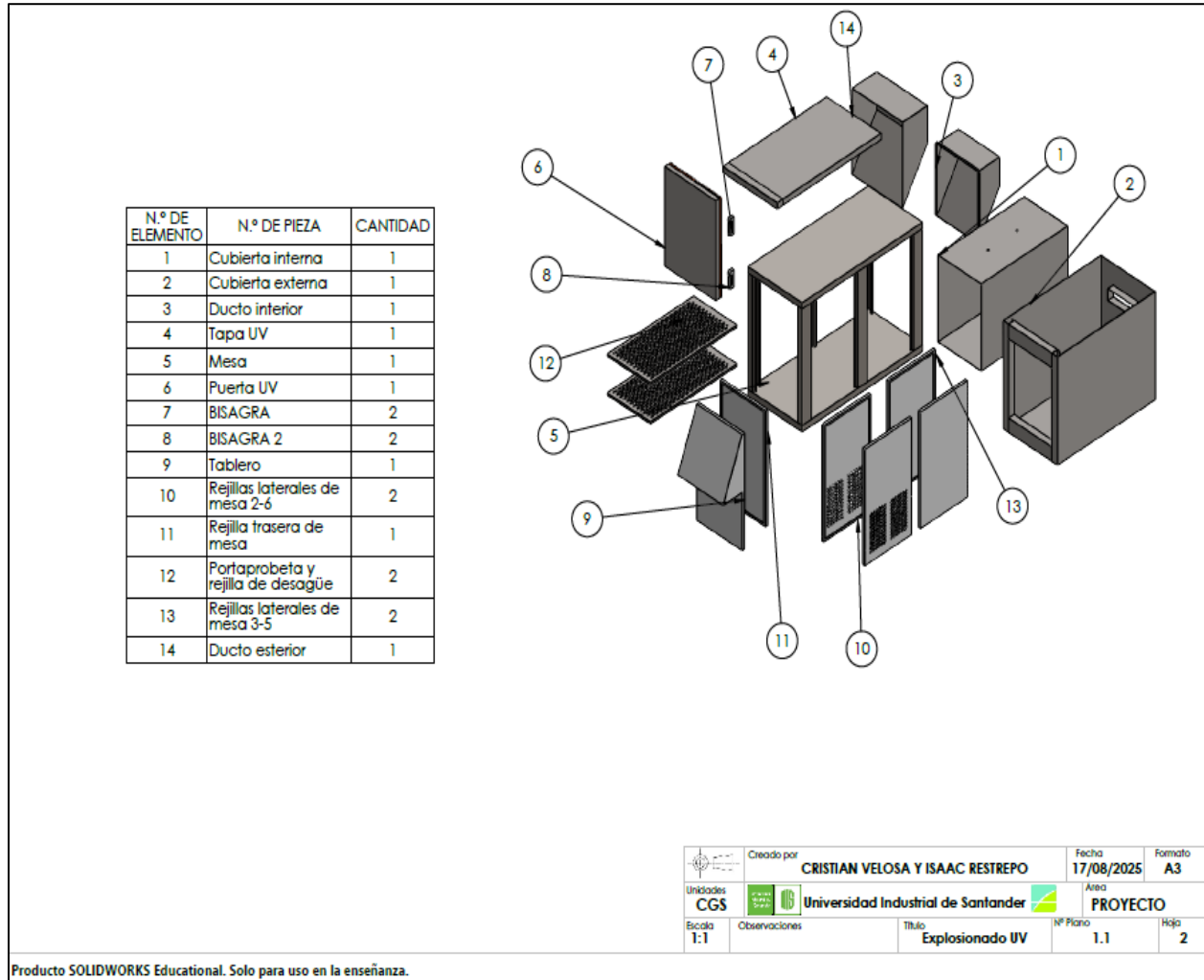
Apéndice G.

Planos a detalle de sección UV.

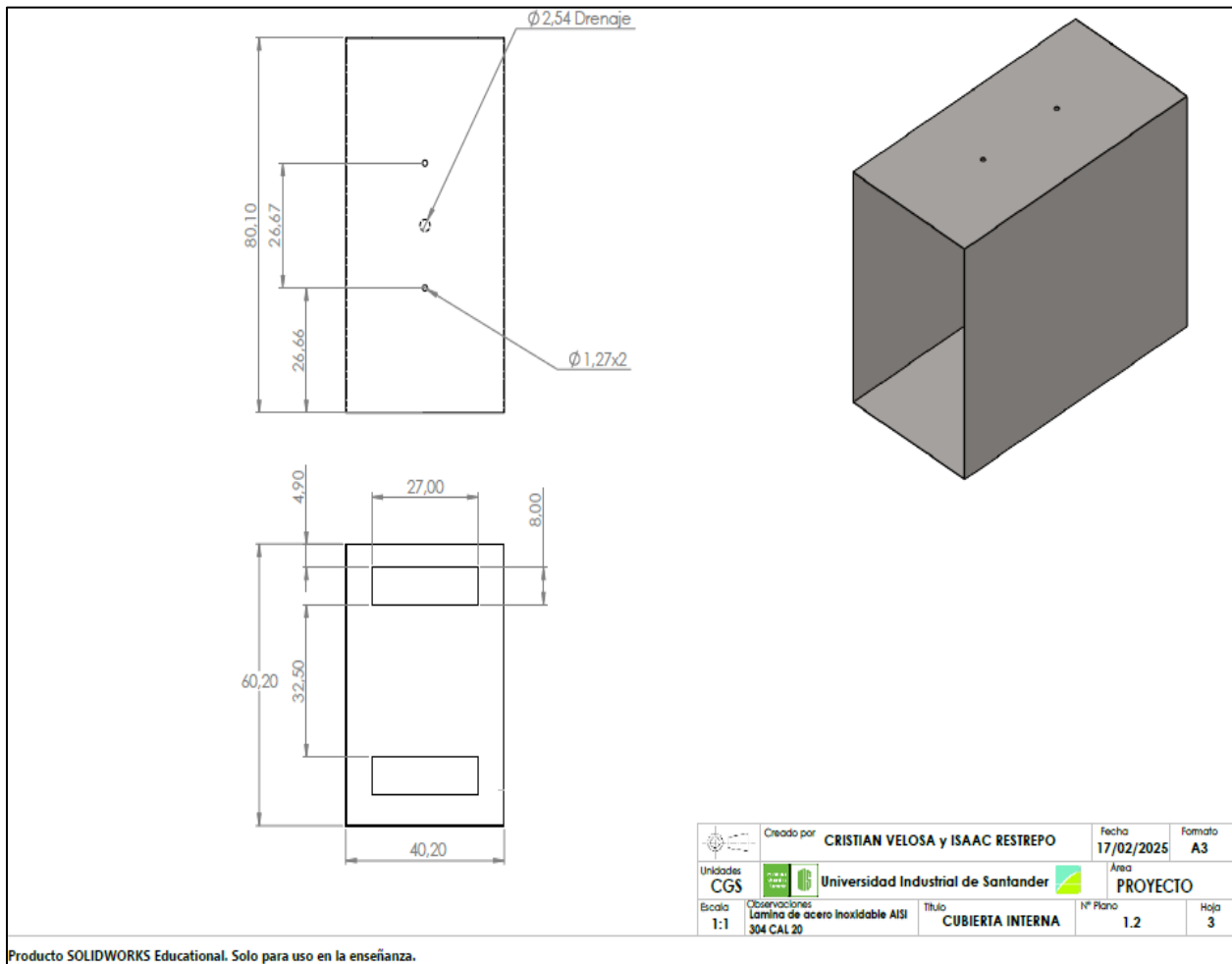
- Ensamblaje cámara UV.



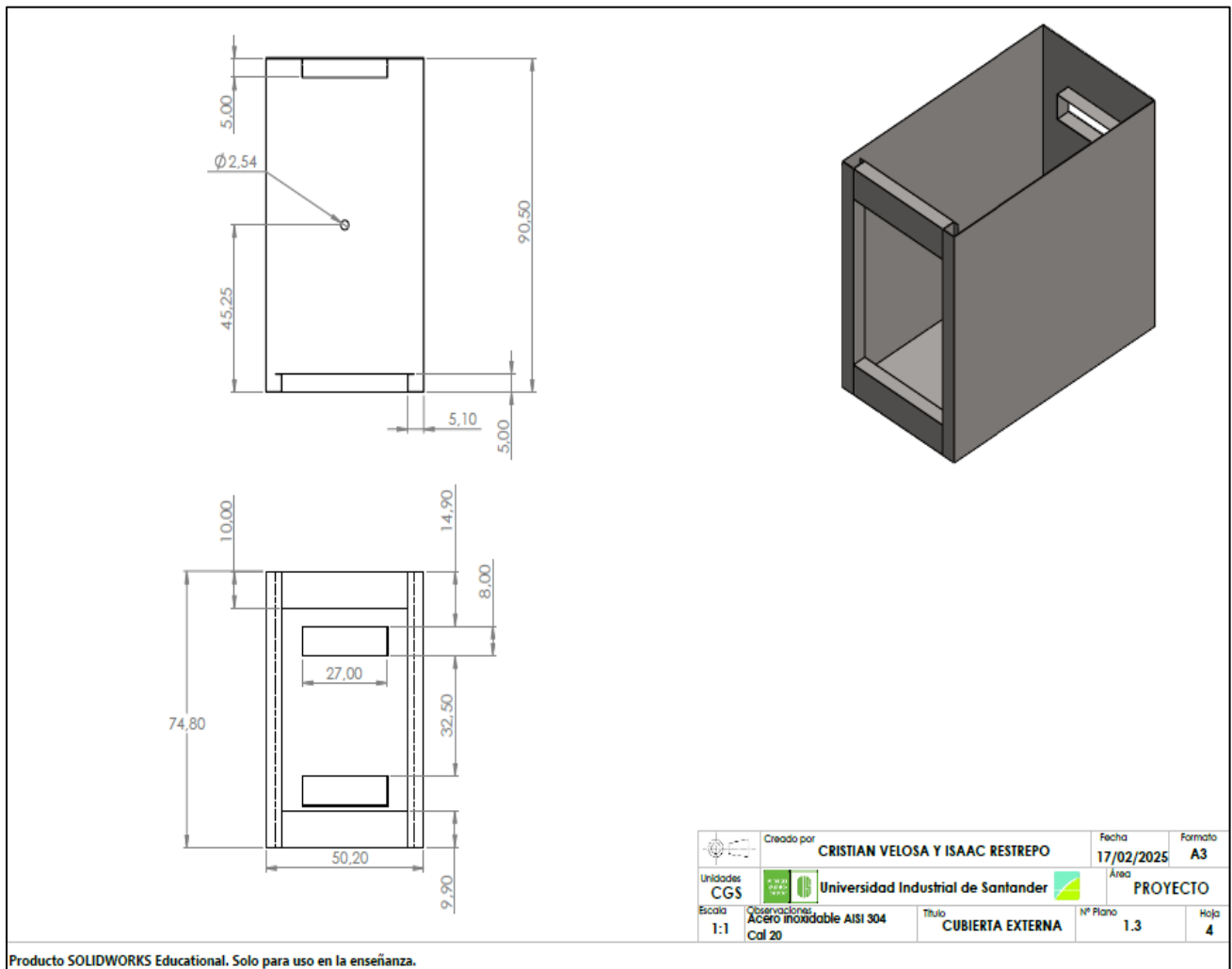
- Explosionado de cámara UV.



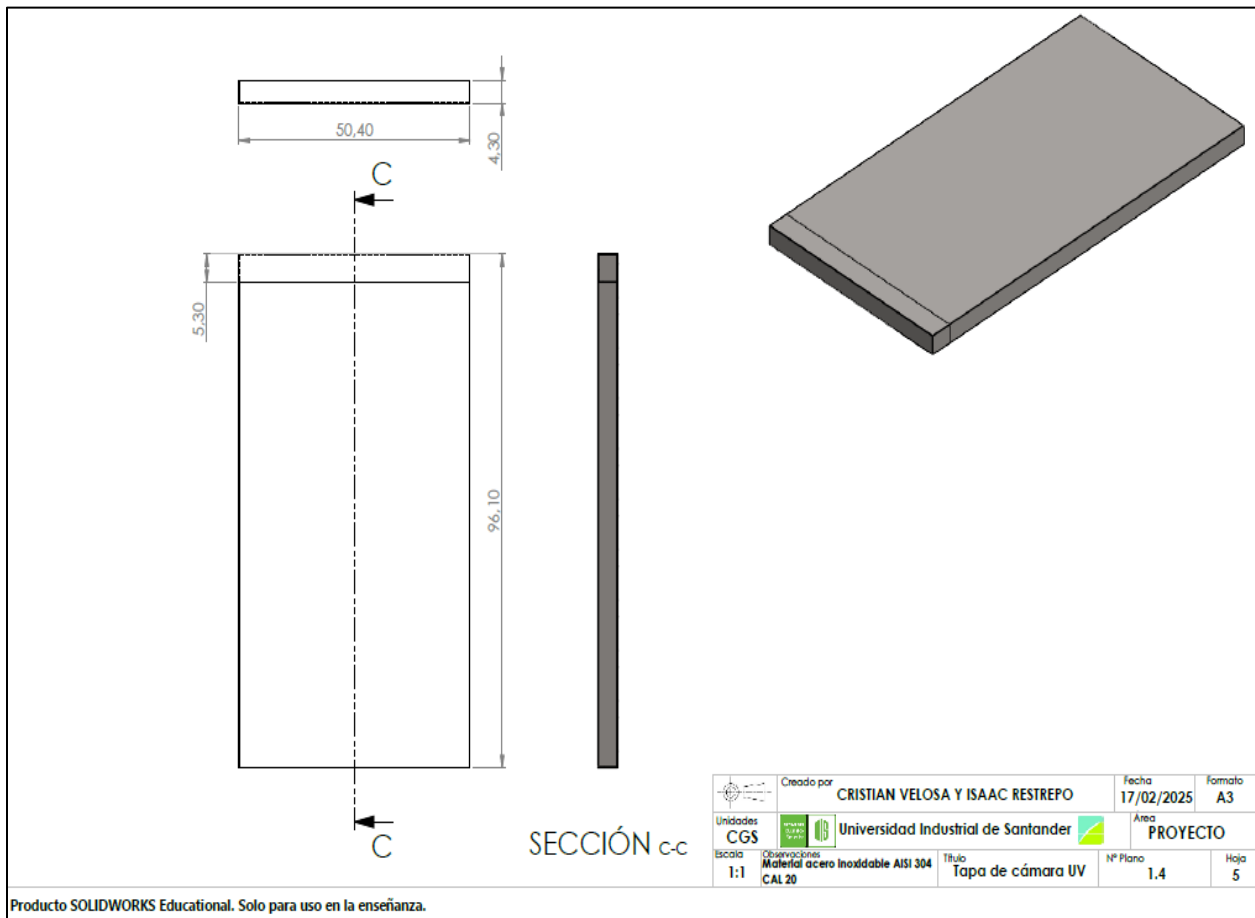
- Cubierta interna.



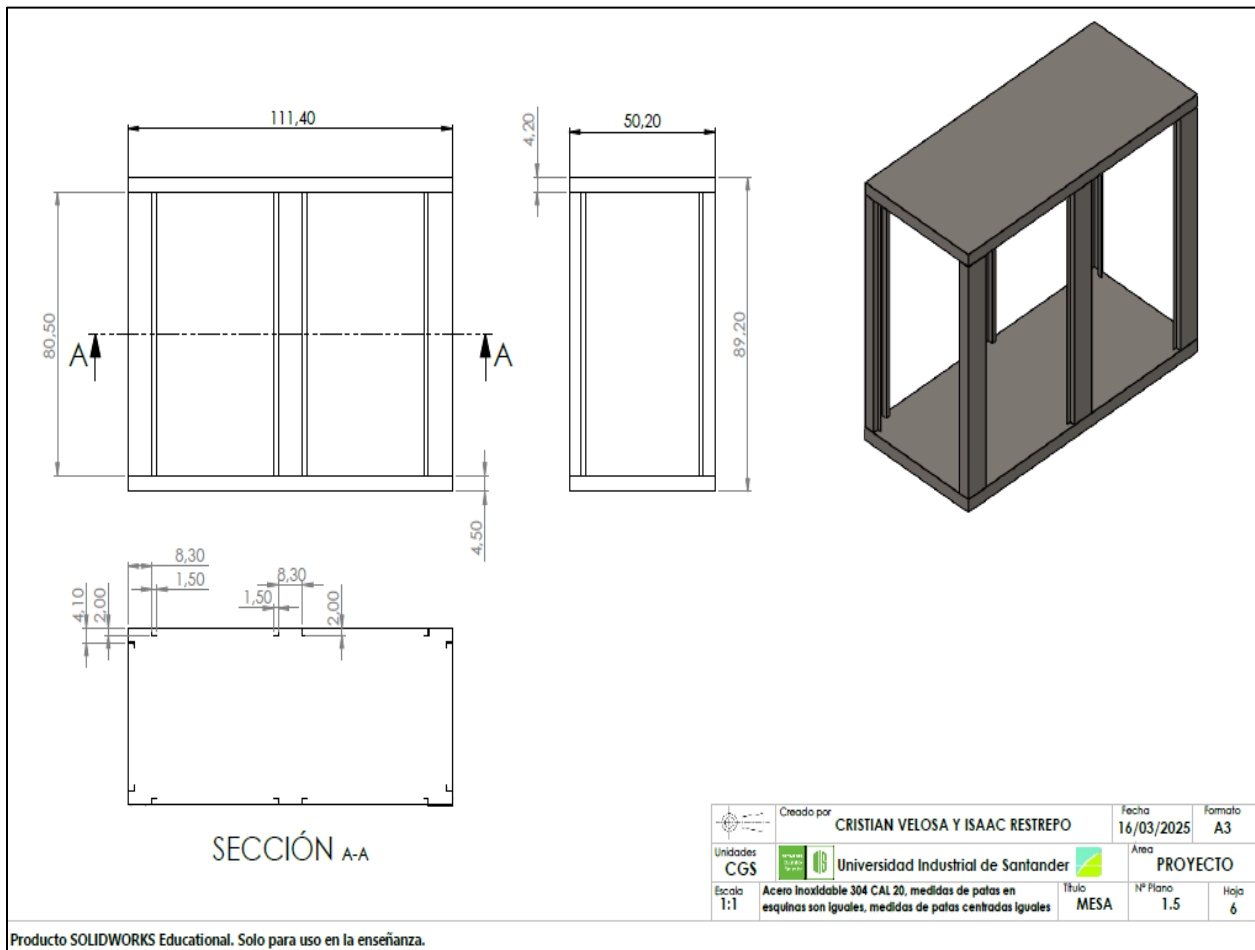
- Cubierta externa.



- Tapa de cámara UV.

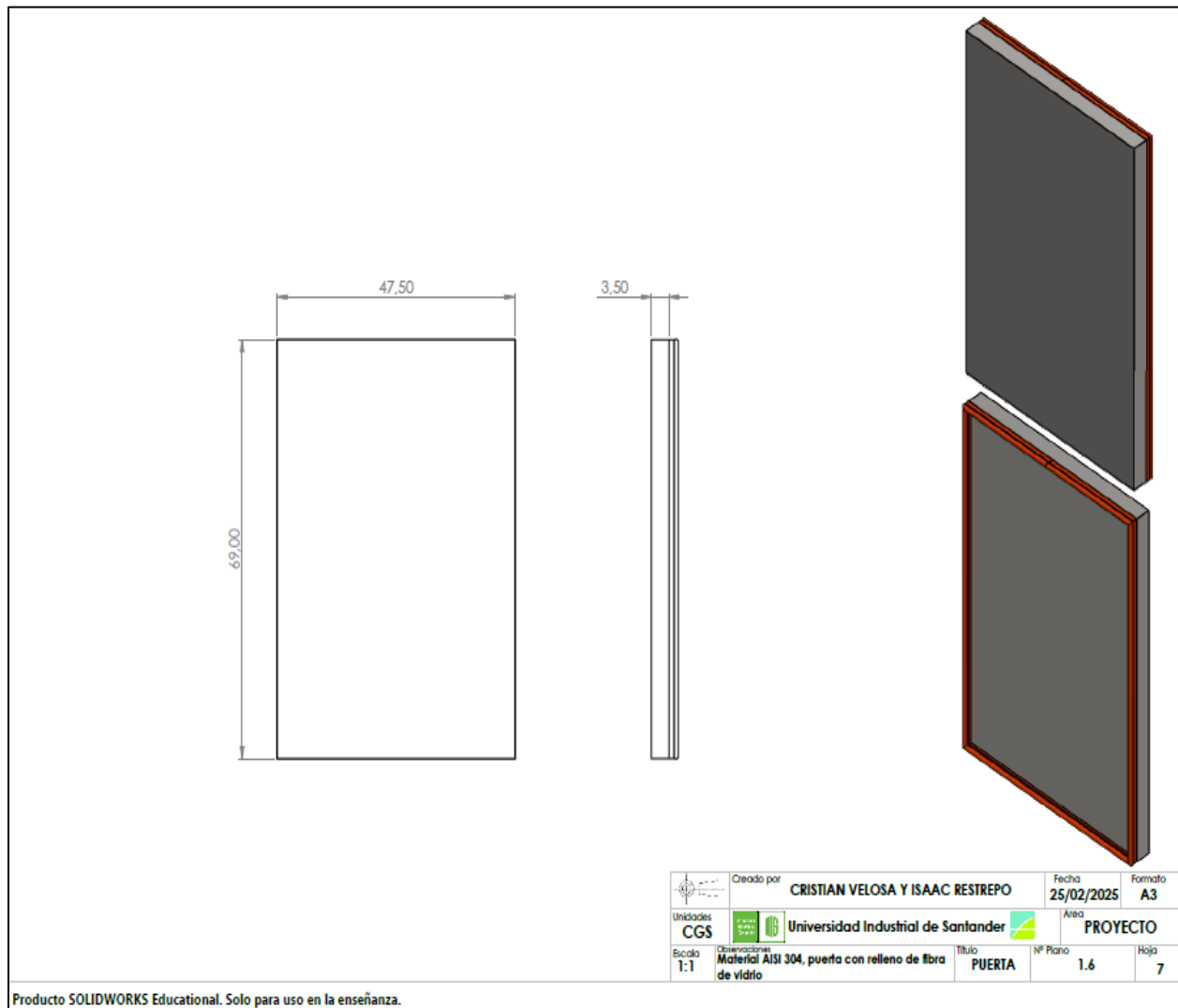


- Mesa sección UV.



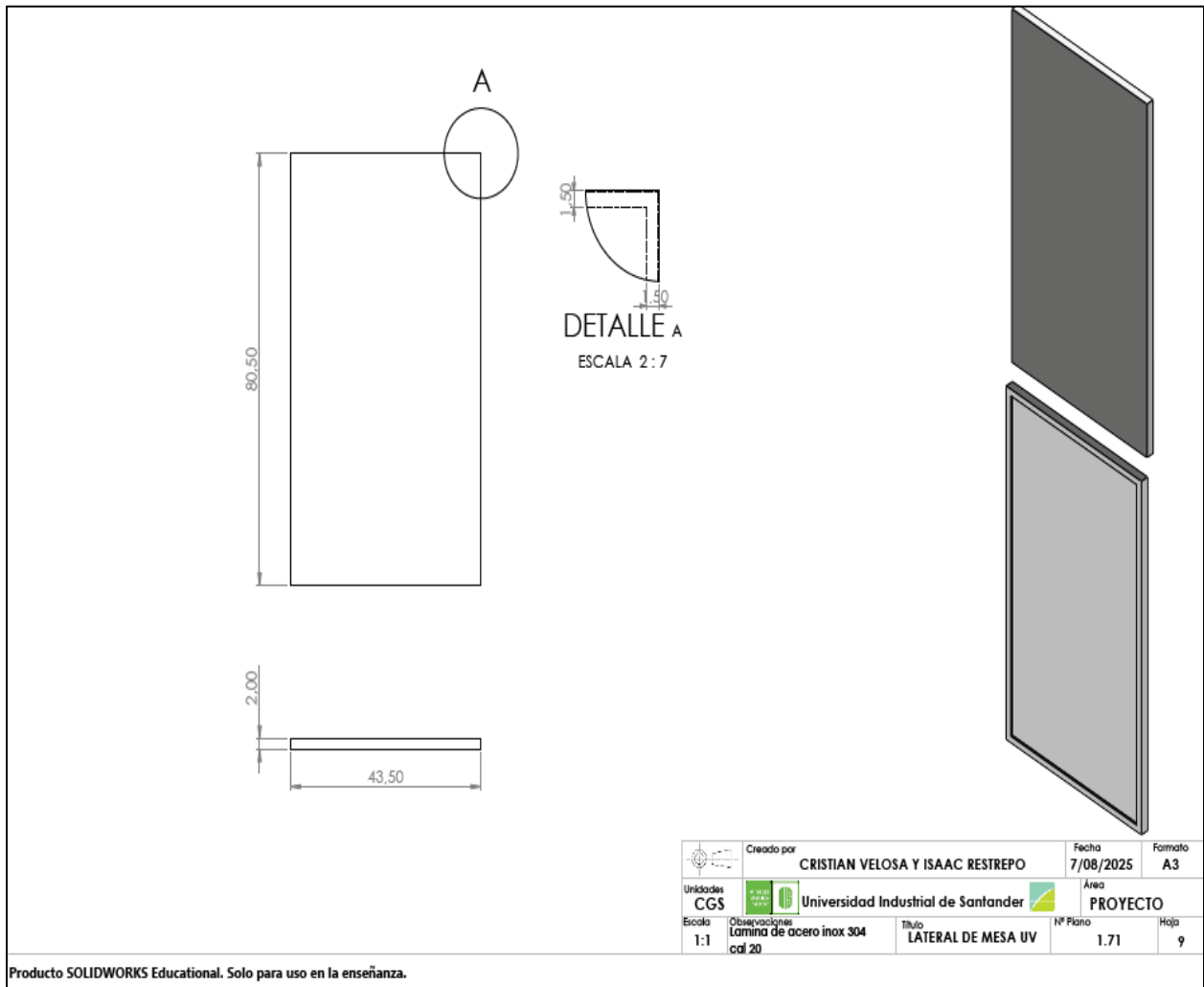
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

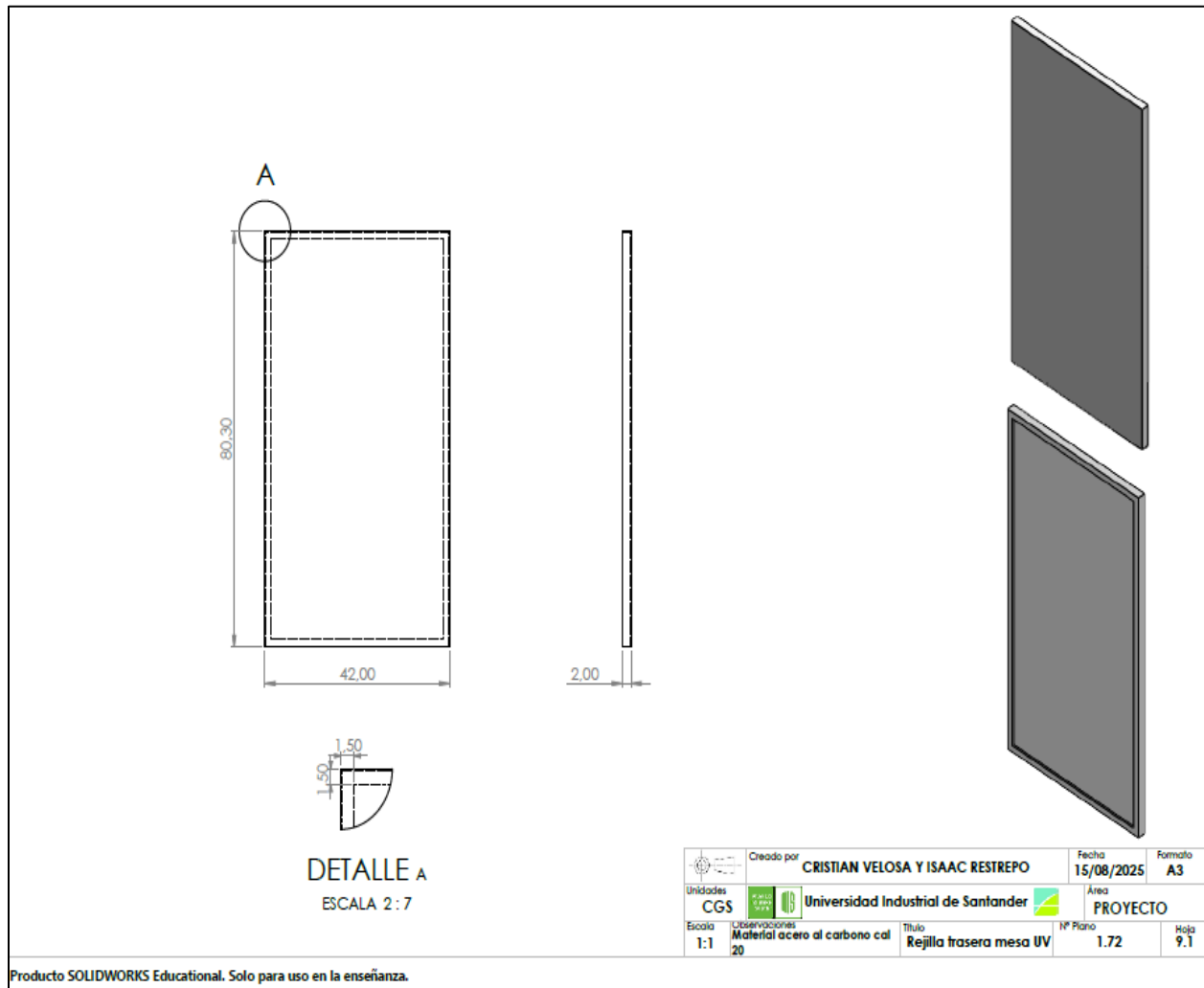
- Puerta sección UV.



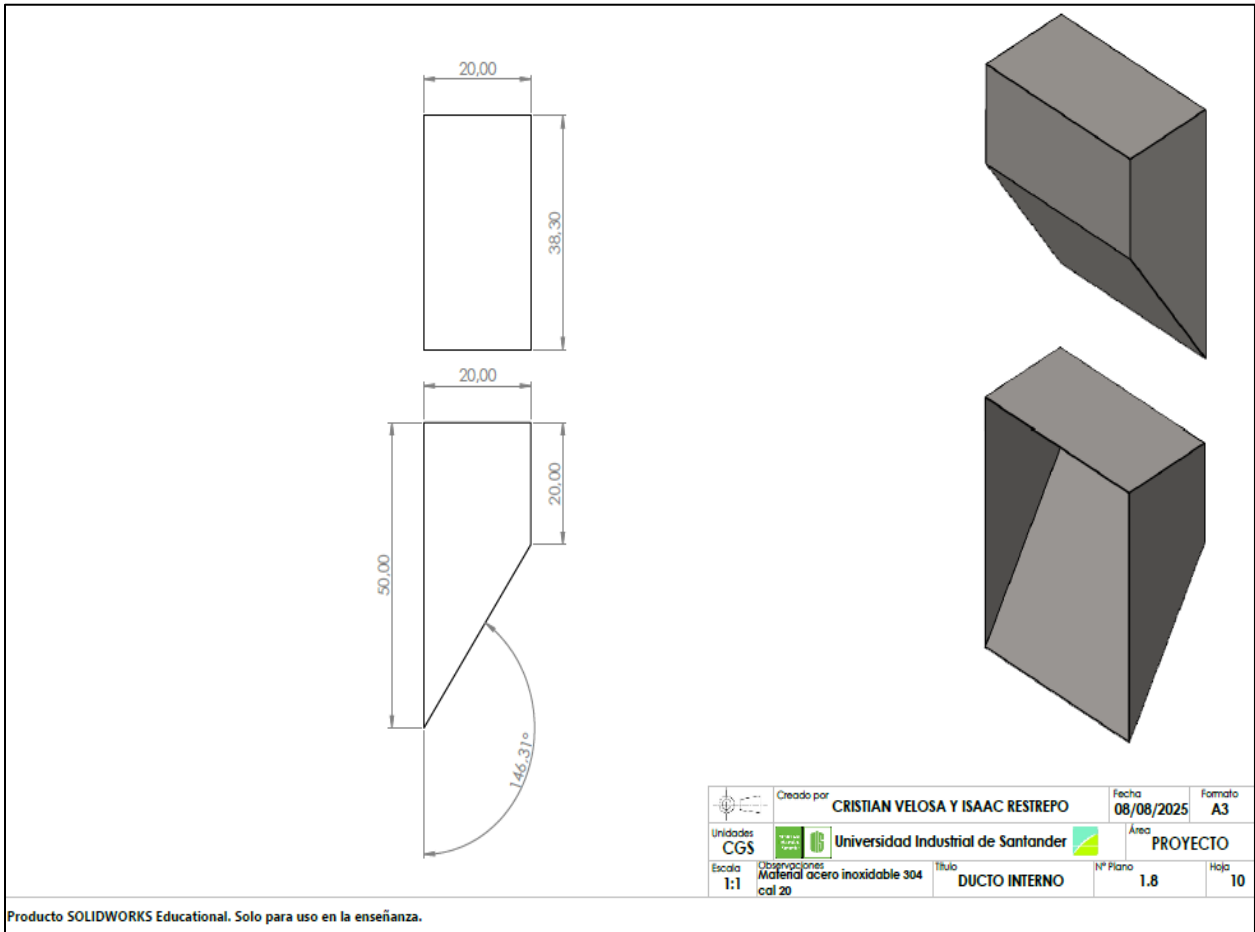
- Laterales de mesa UV

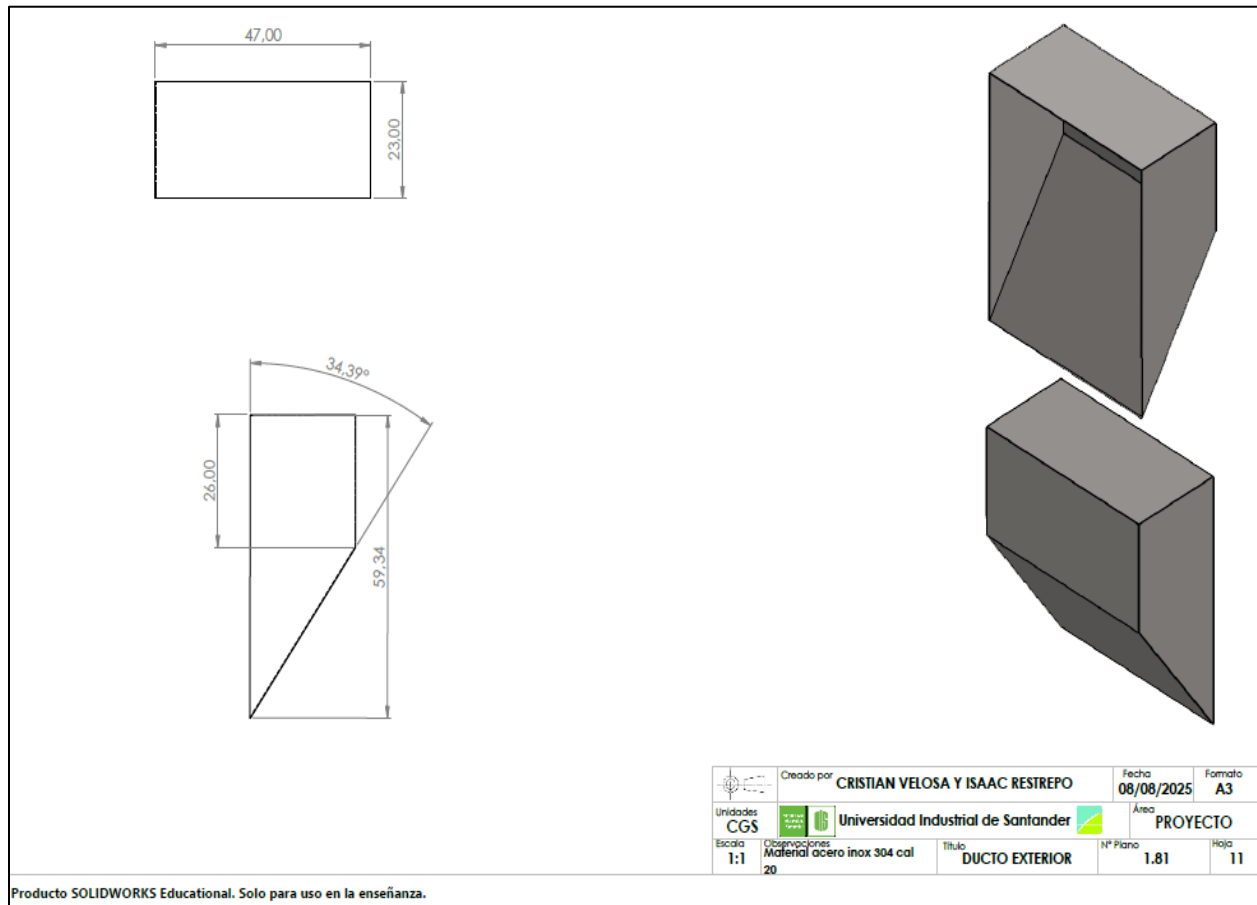




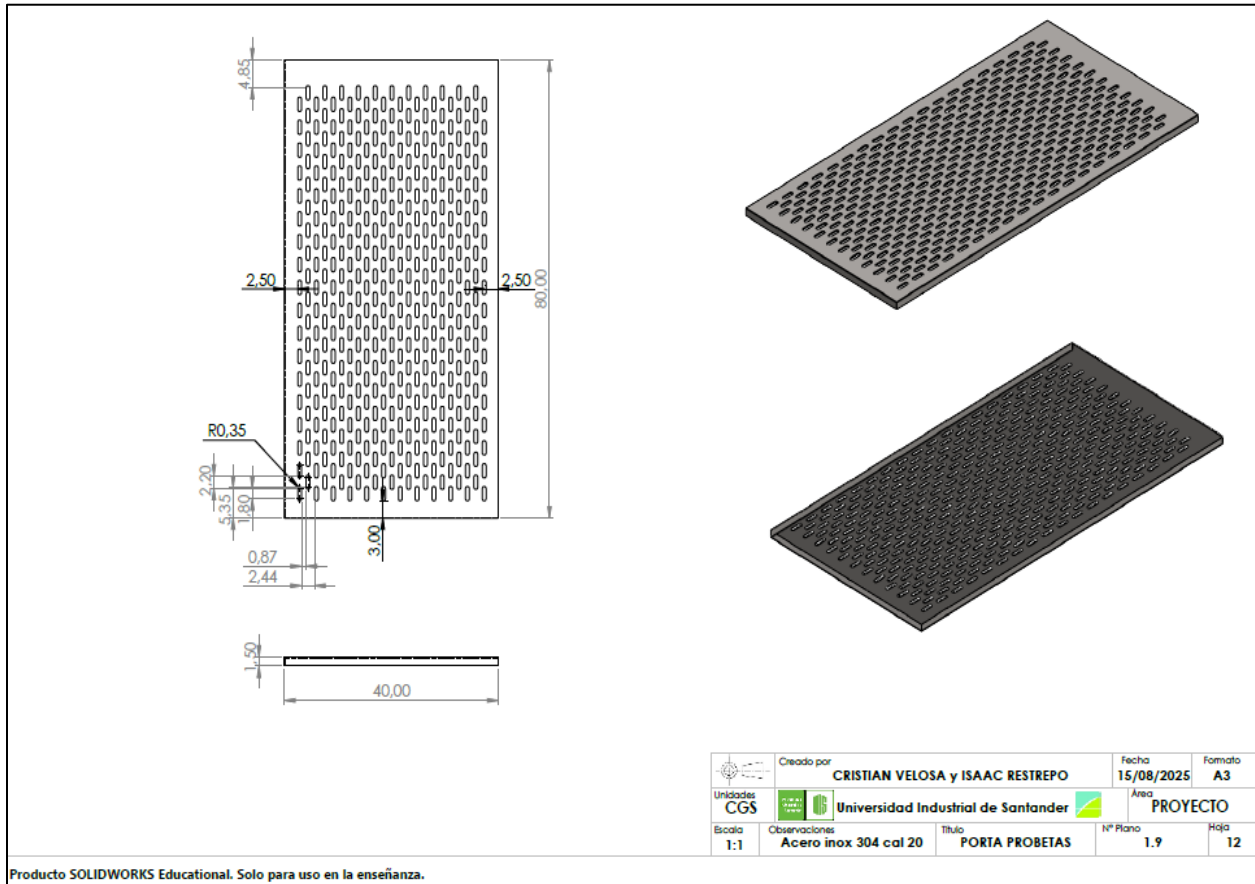


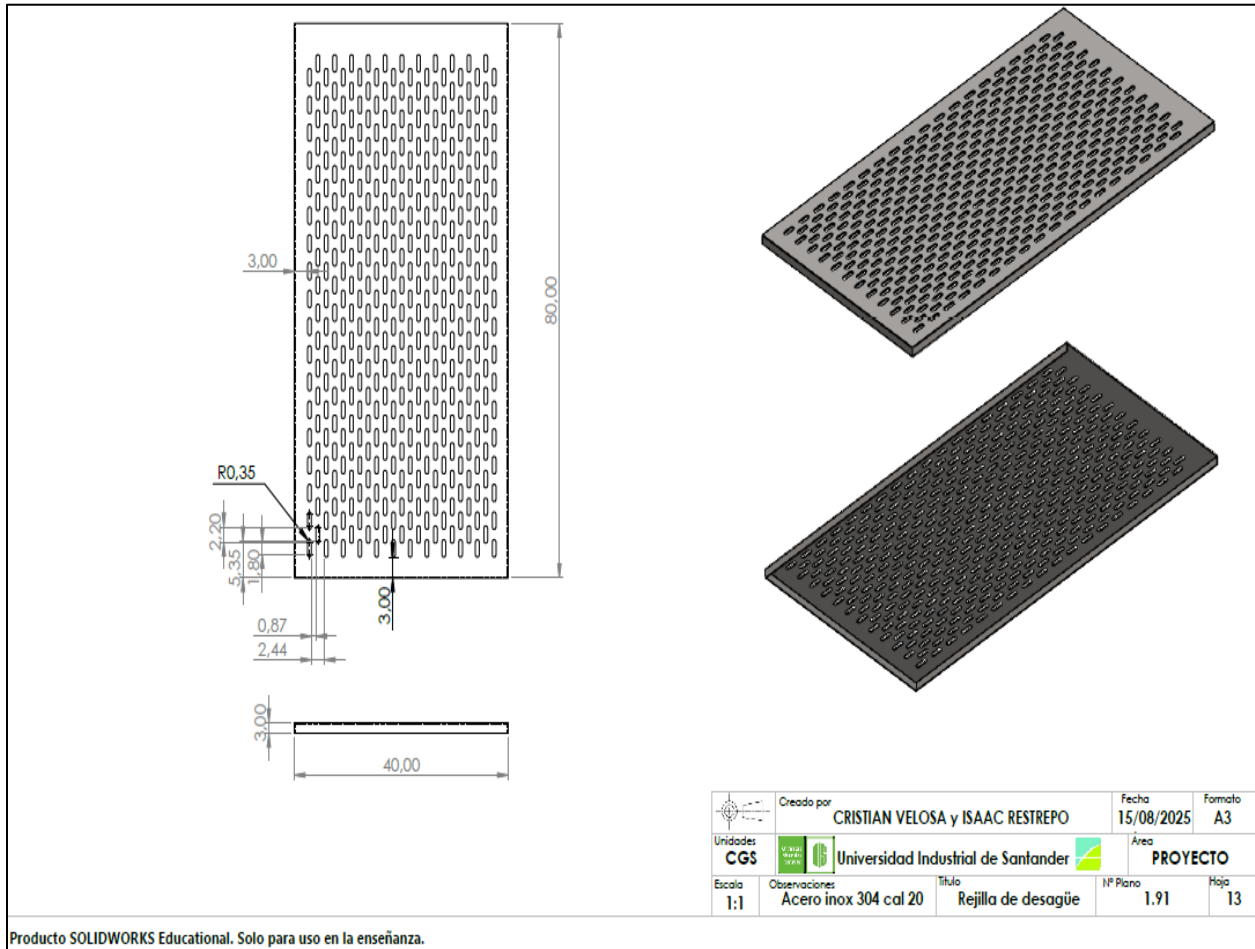
- Ducto interno y externo



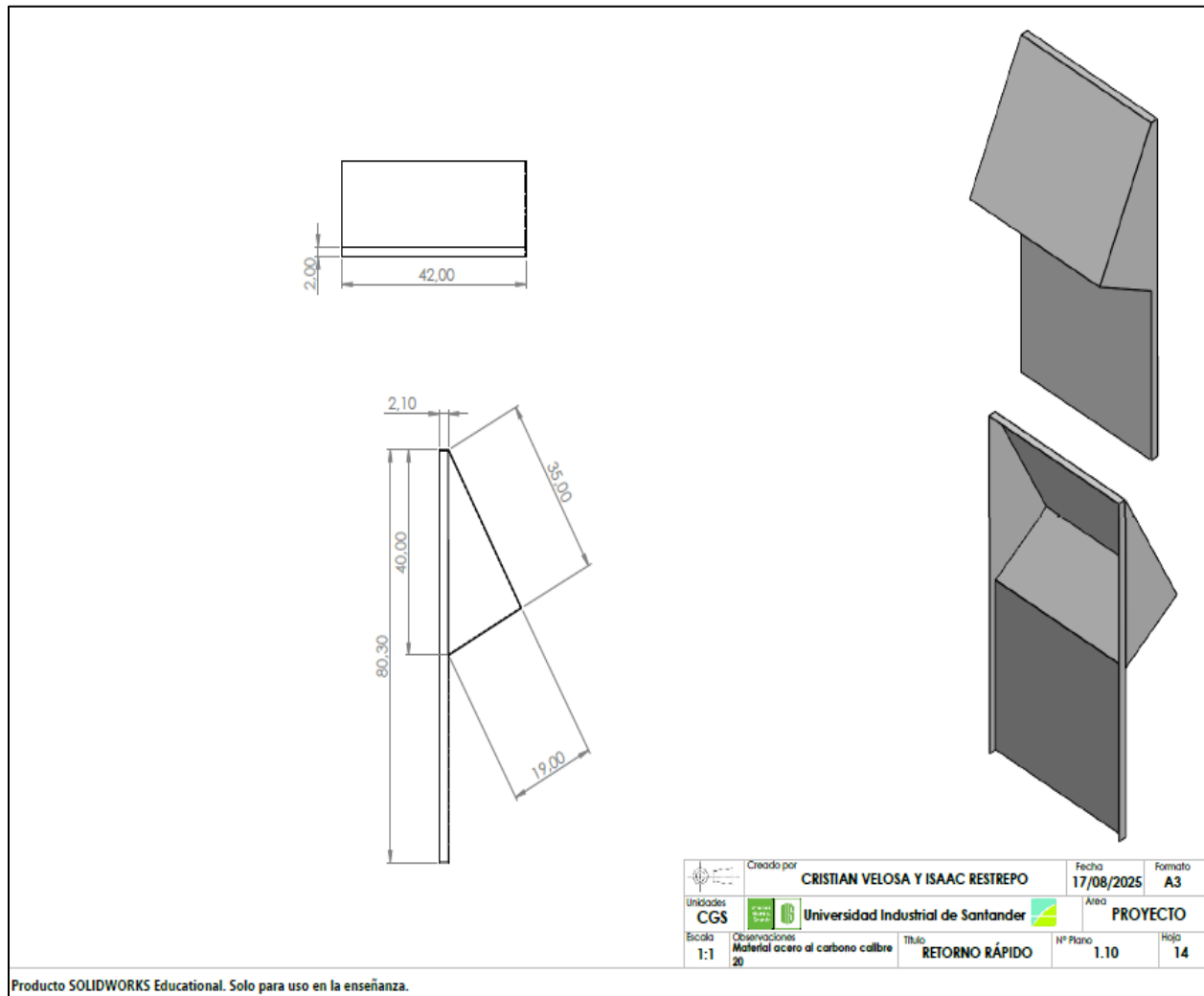


- Porta probetas y rejilla de desagüe.

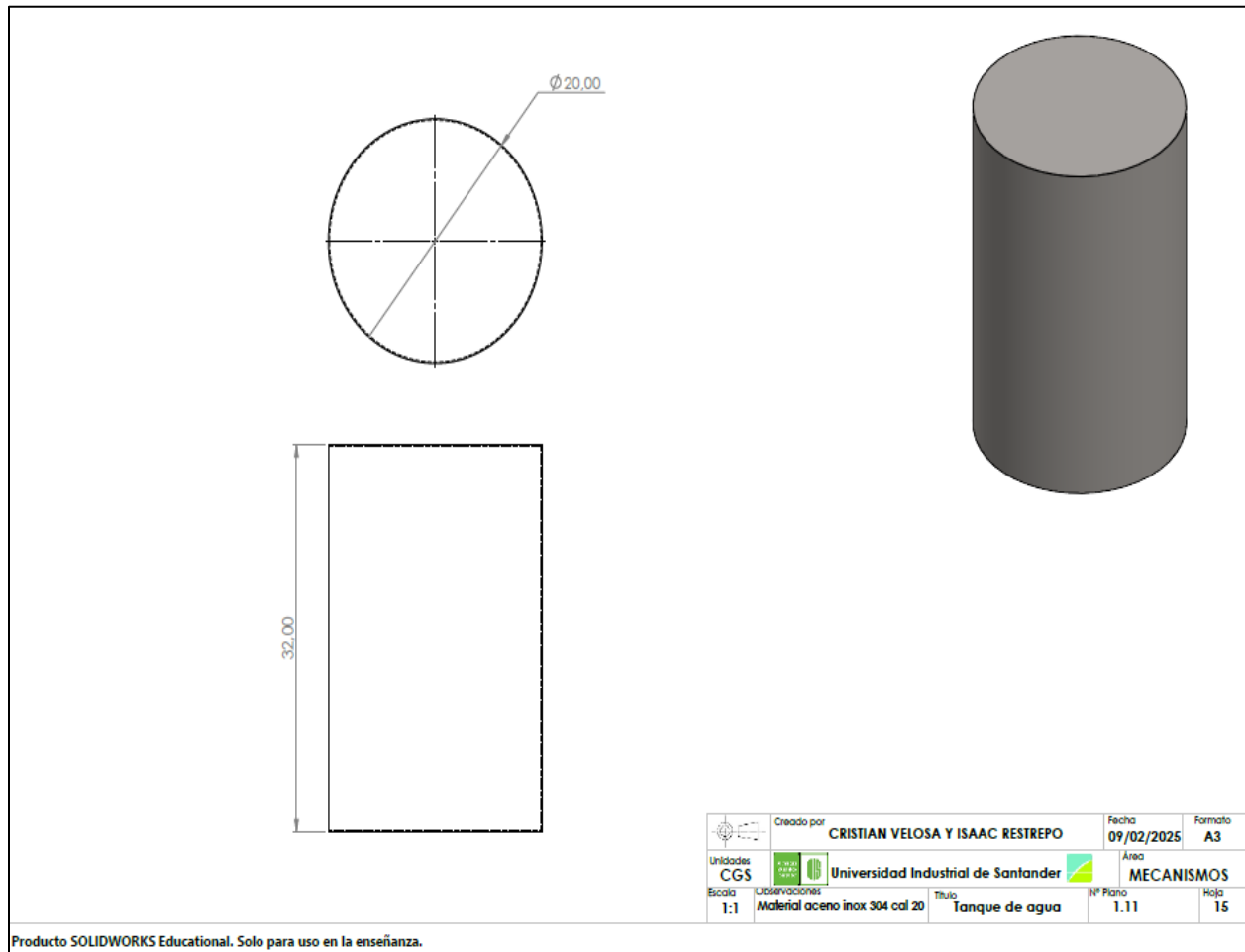




- Tablero de control.



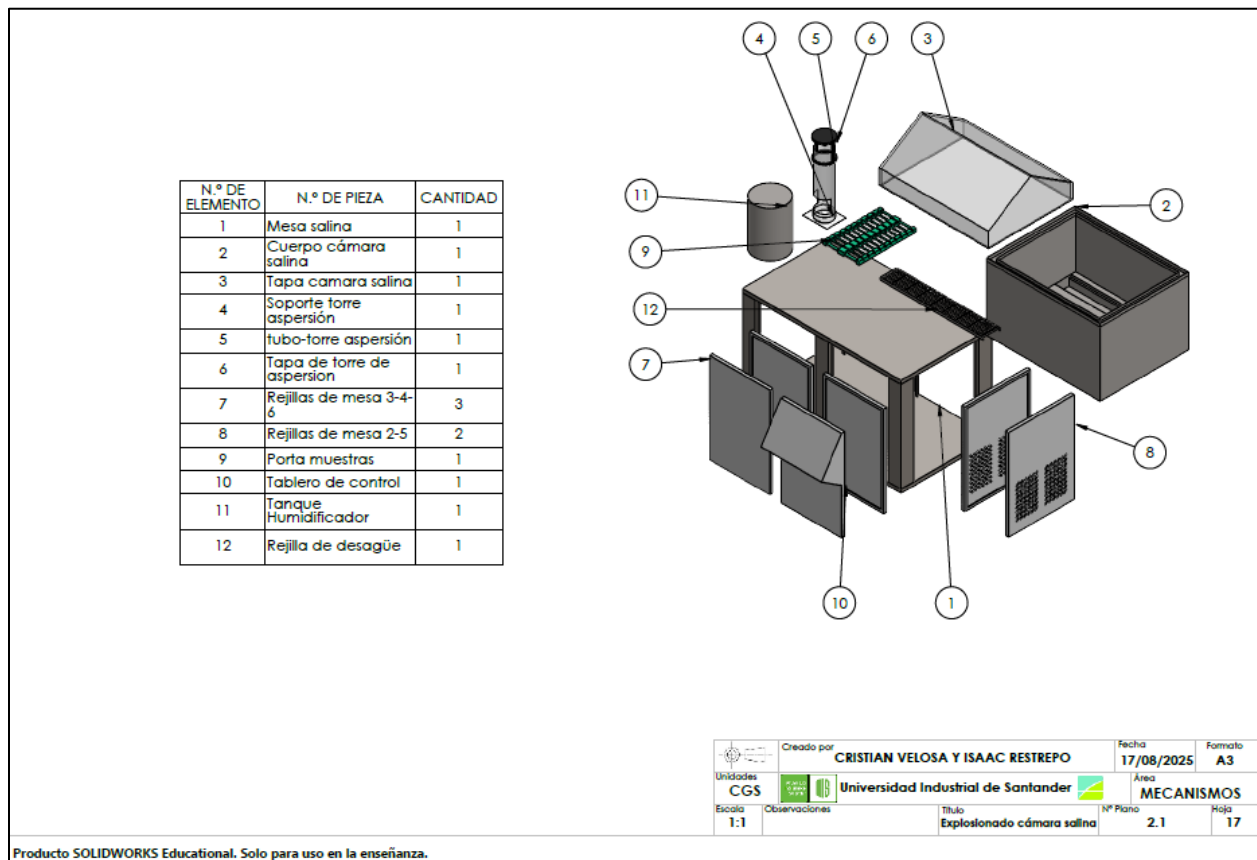
- Tanque de agua.



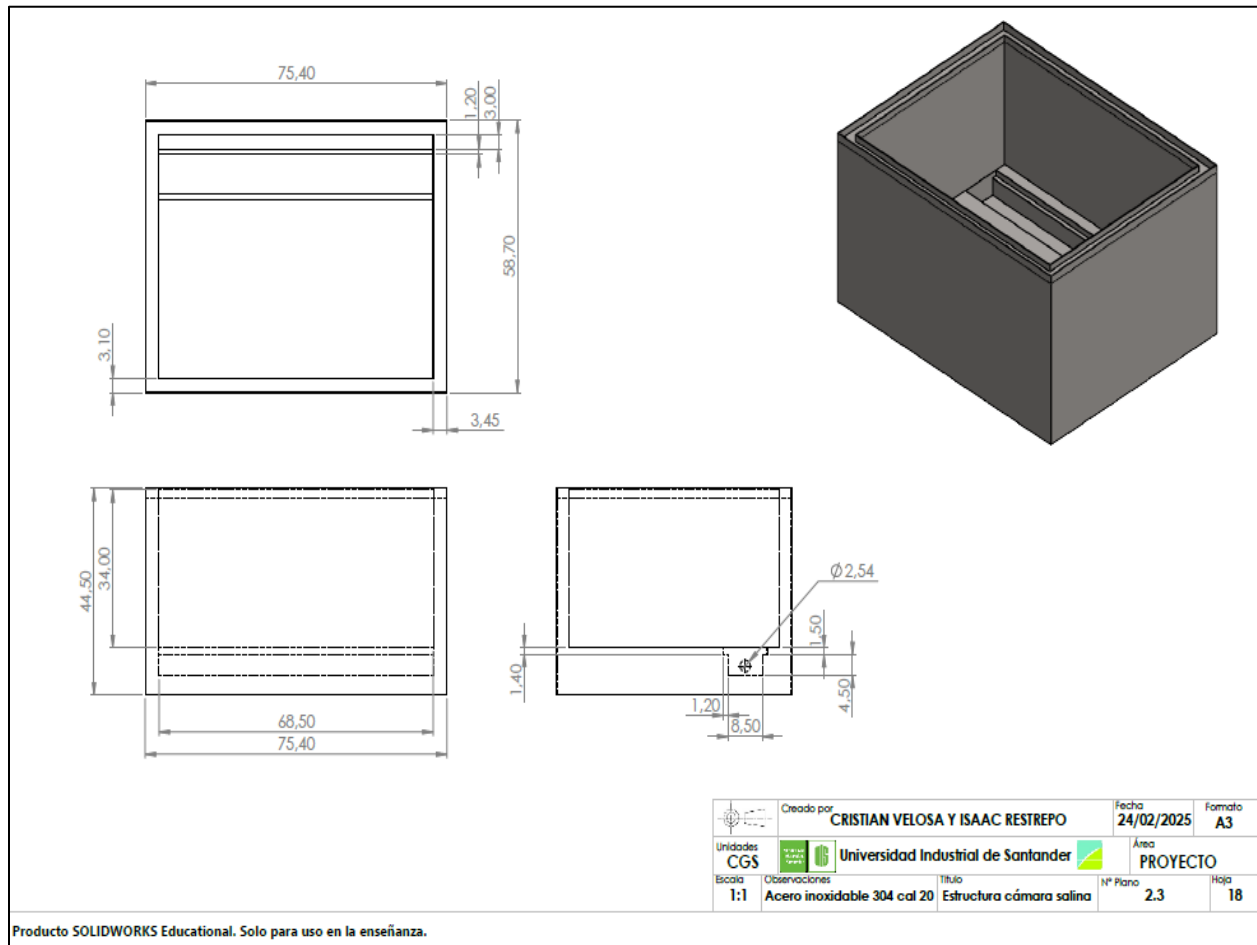
- Ensamble cámara salina.



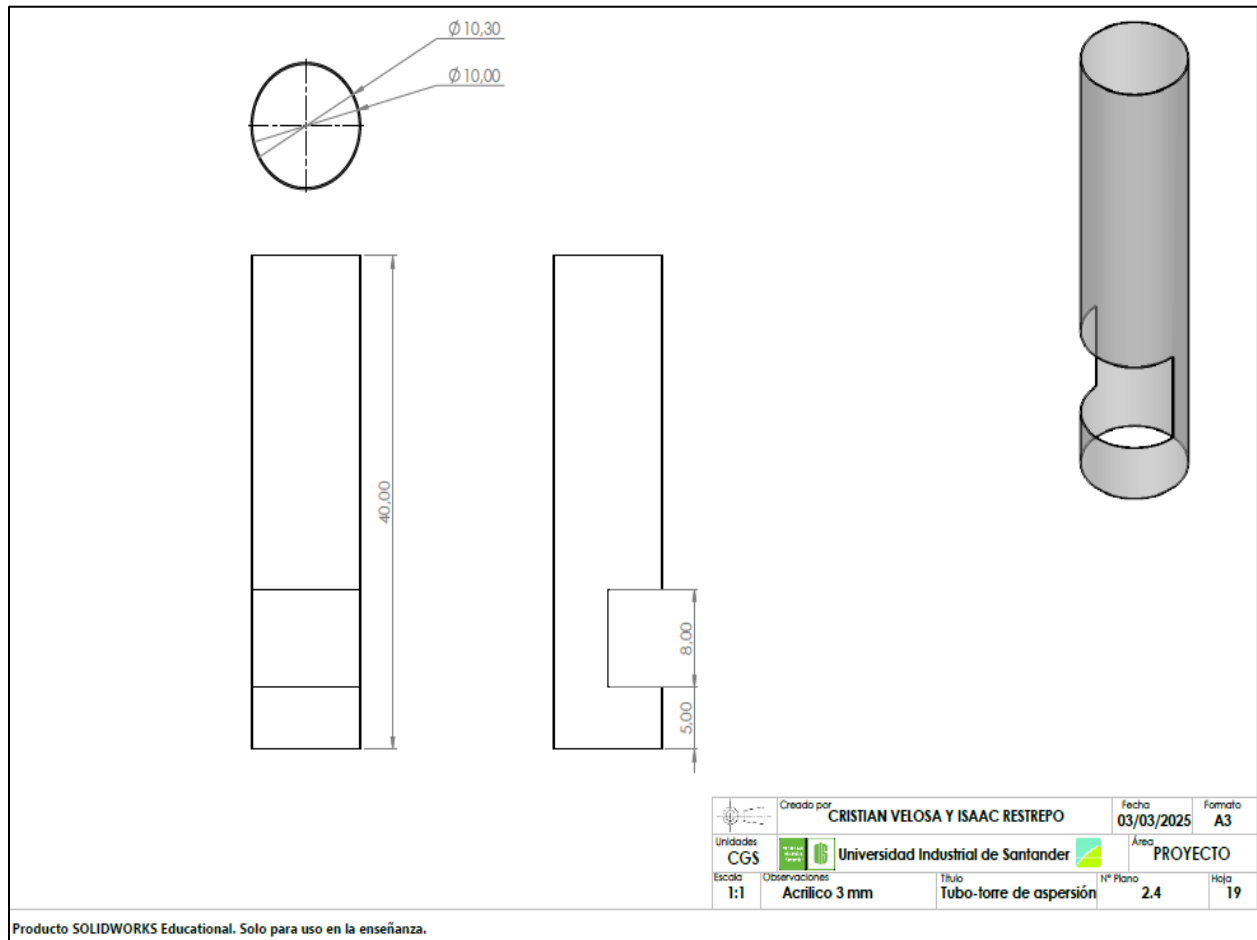
- Explosionado de cámara salina.



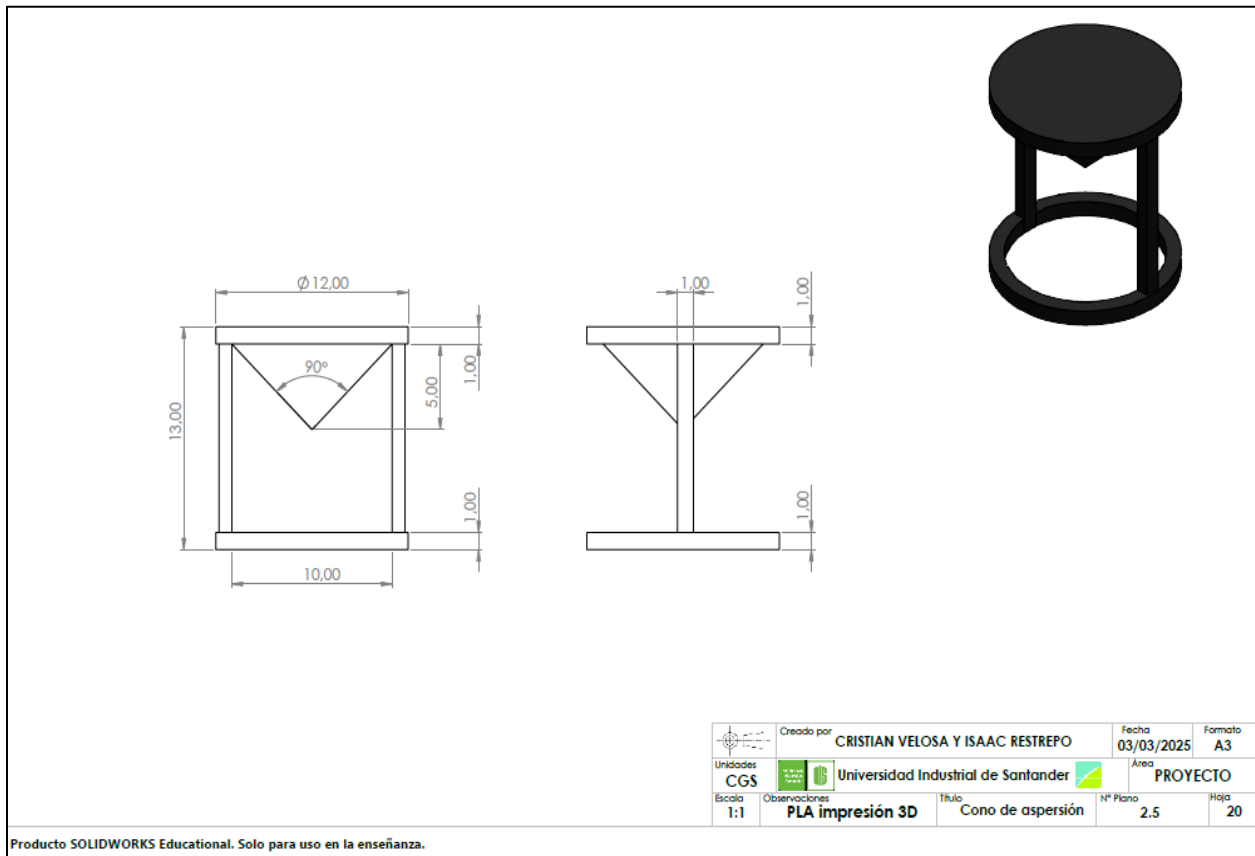
- Estructura cámara salina.



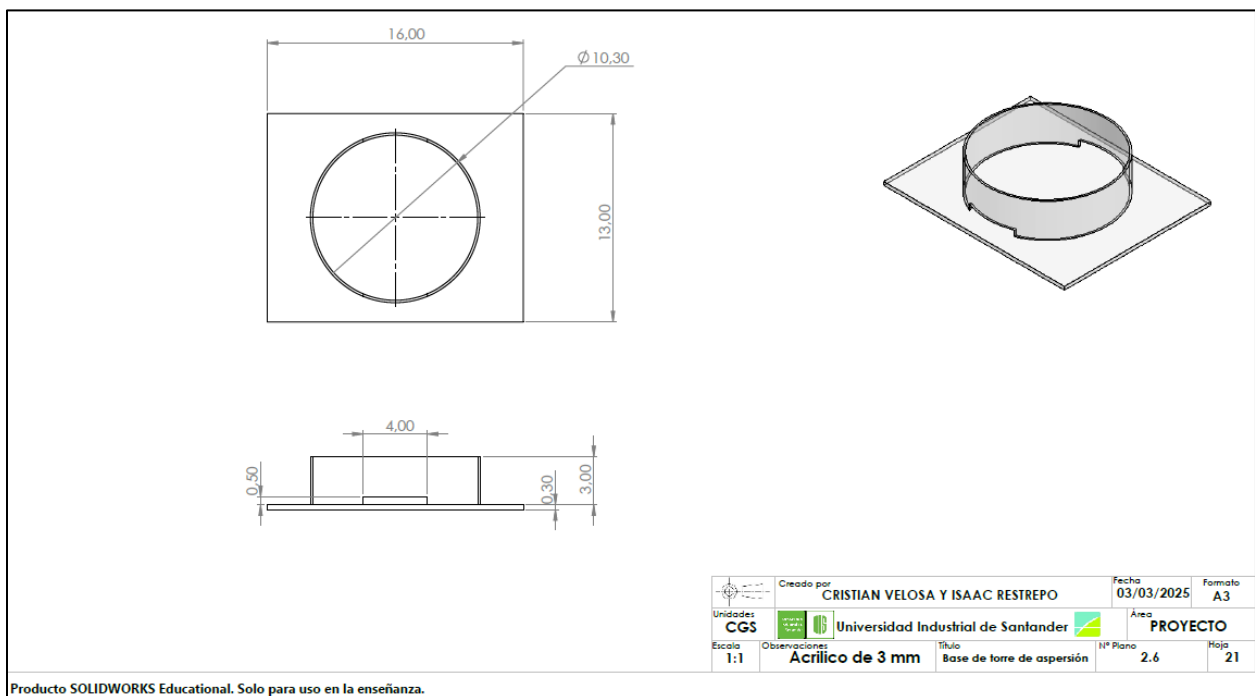
- Tubo-torre de aspersion.



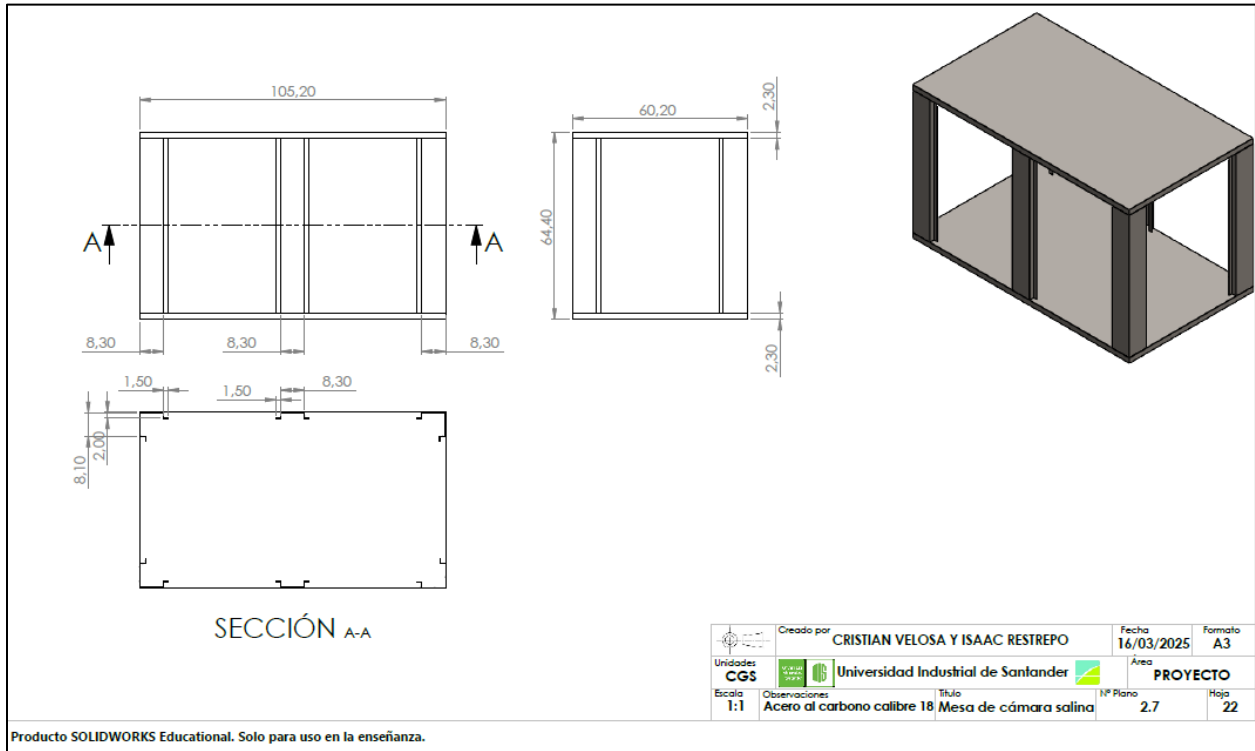
- Cono de aspersión.



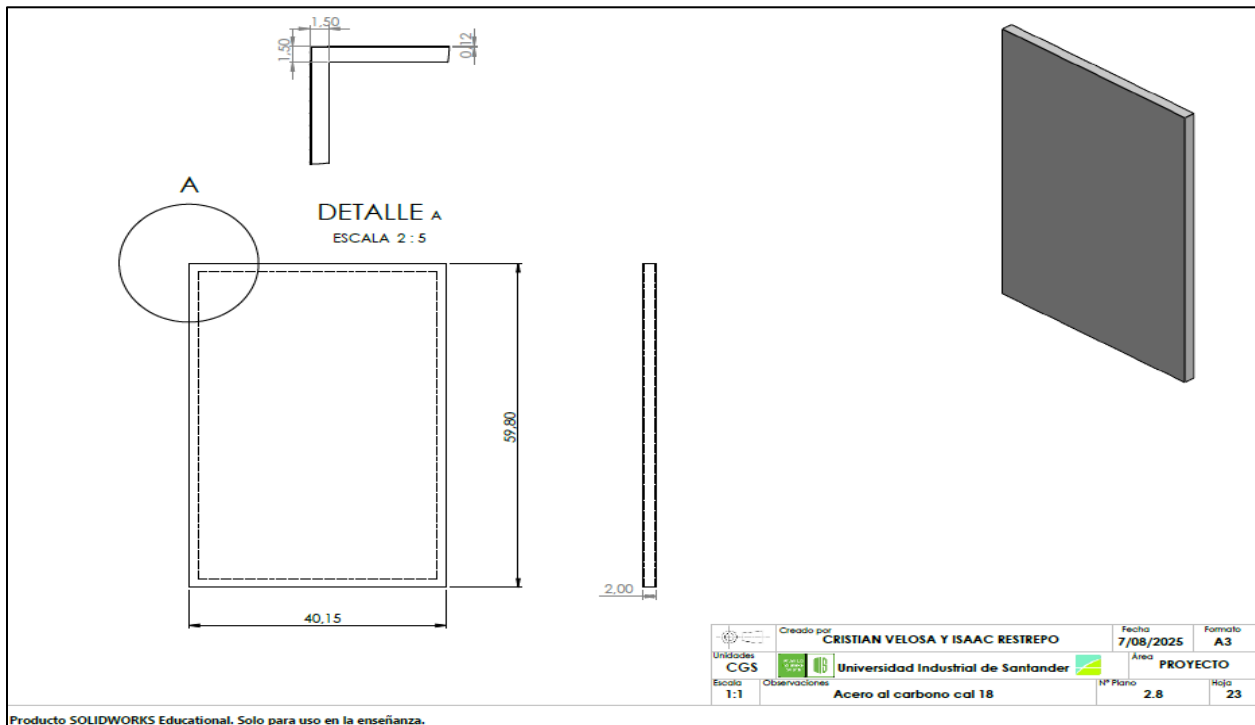
- Base - torre de aspersión.

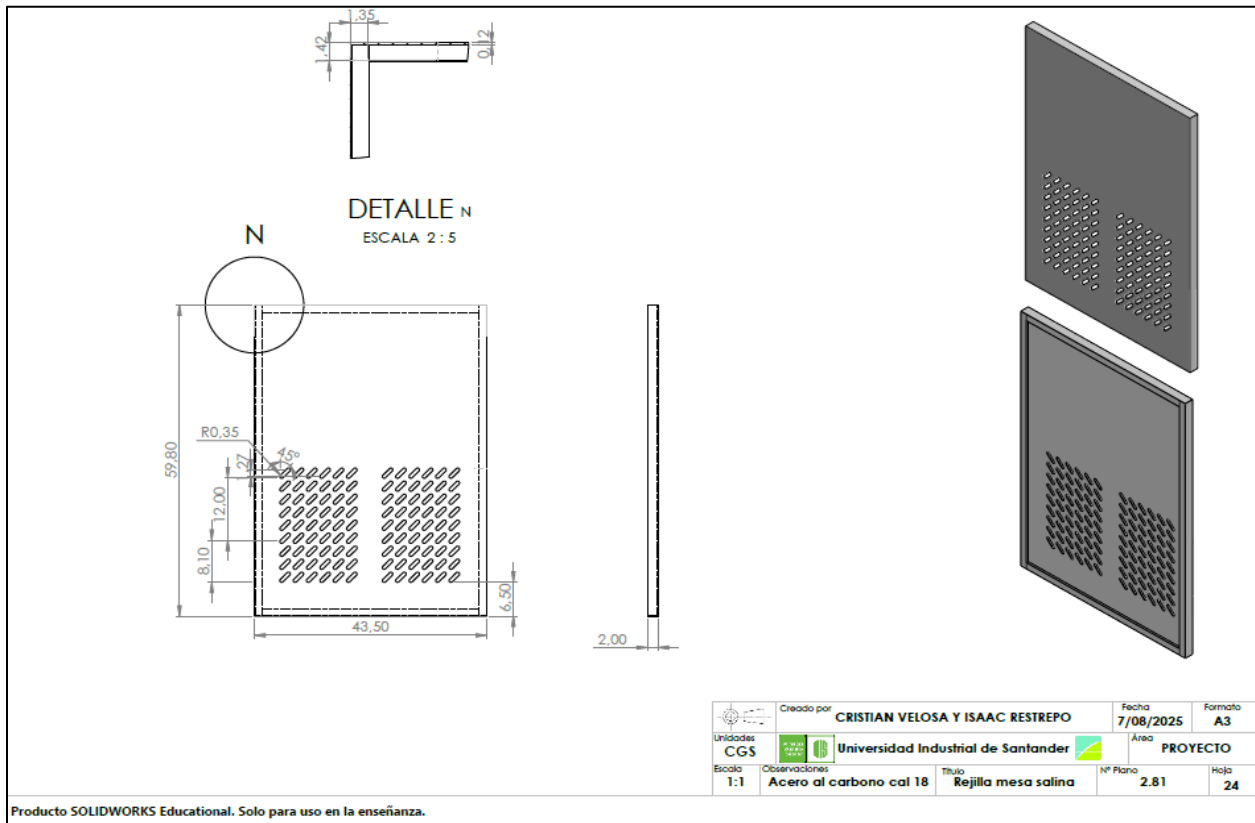


- Mesa de cámara salina.

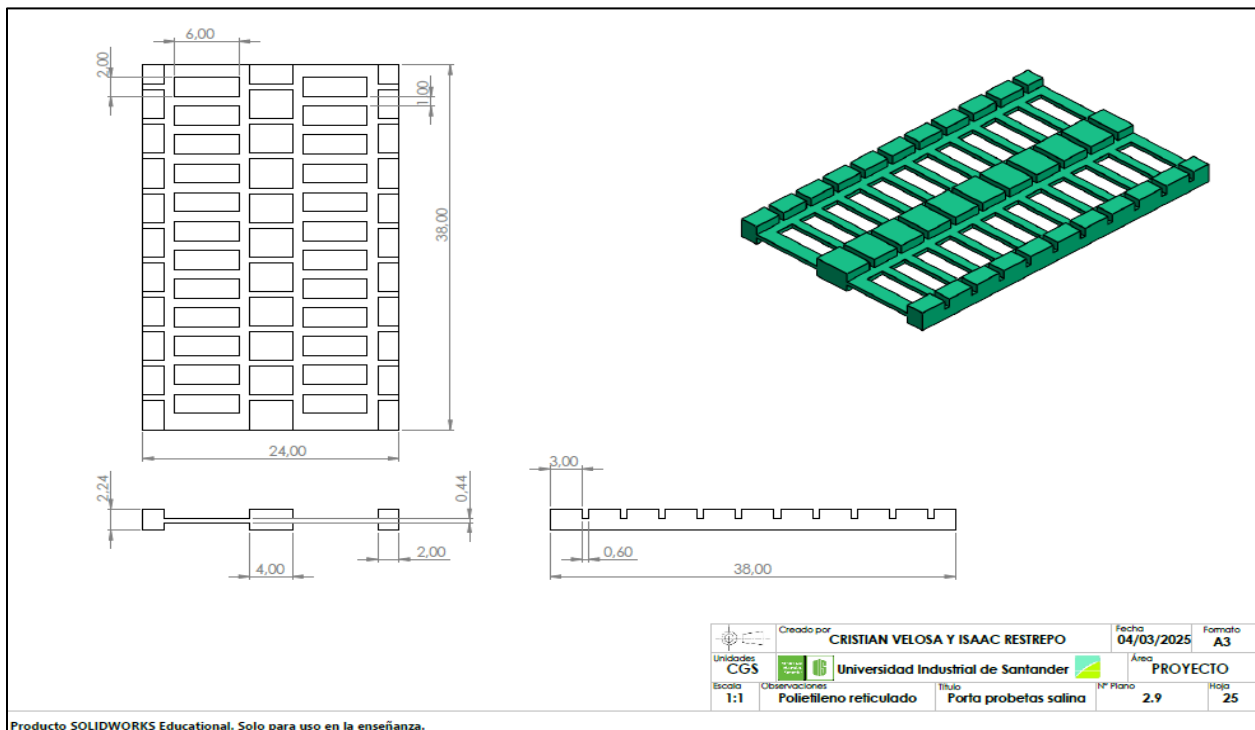


- Rejilla lateral de mesa salina.

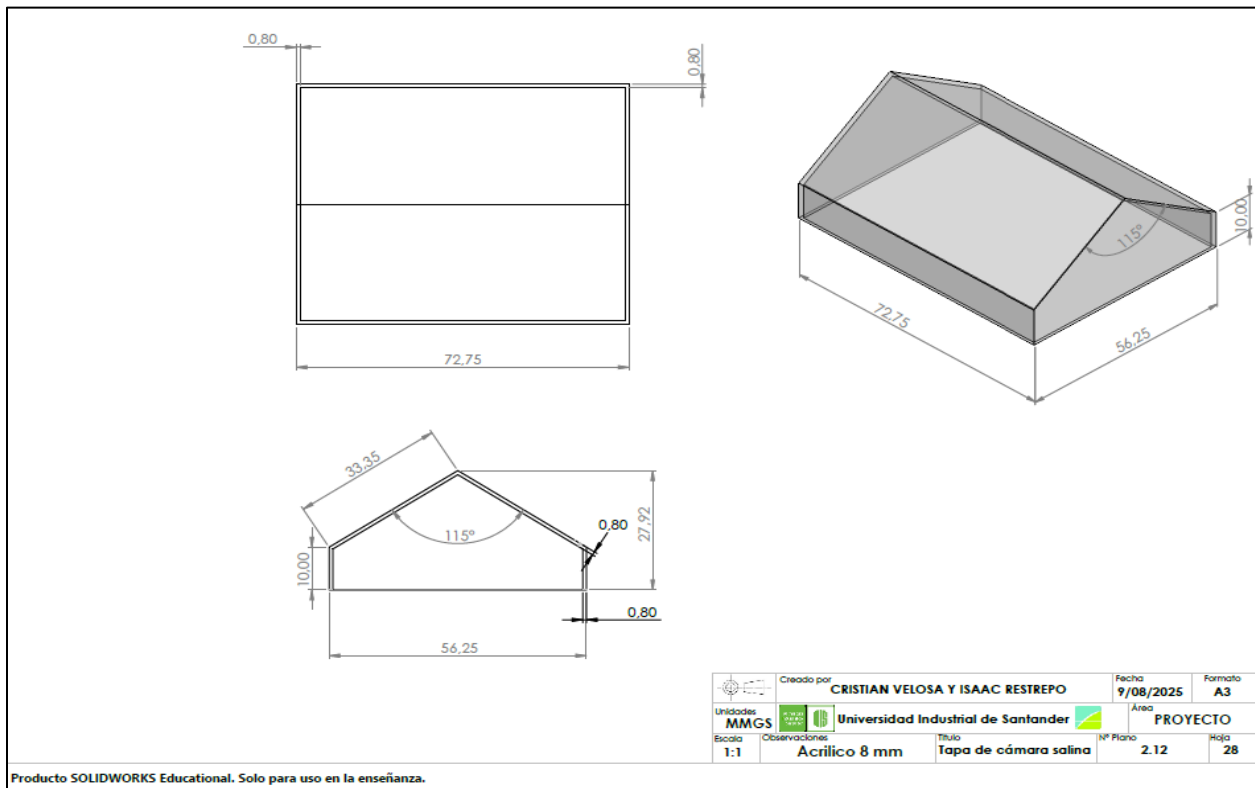




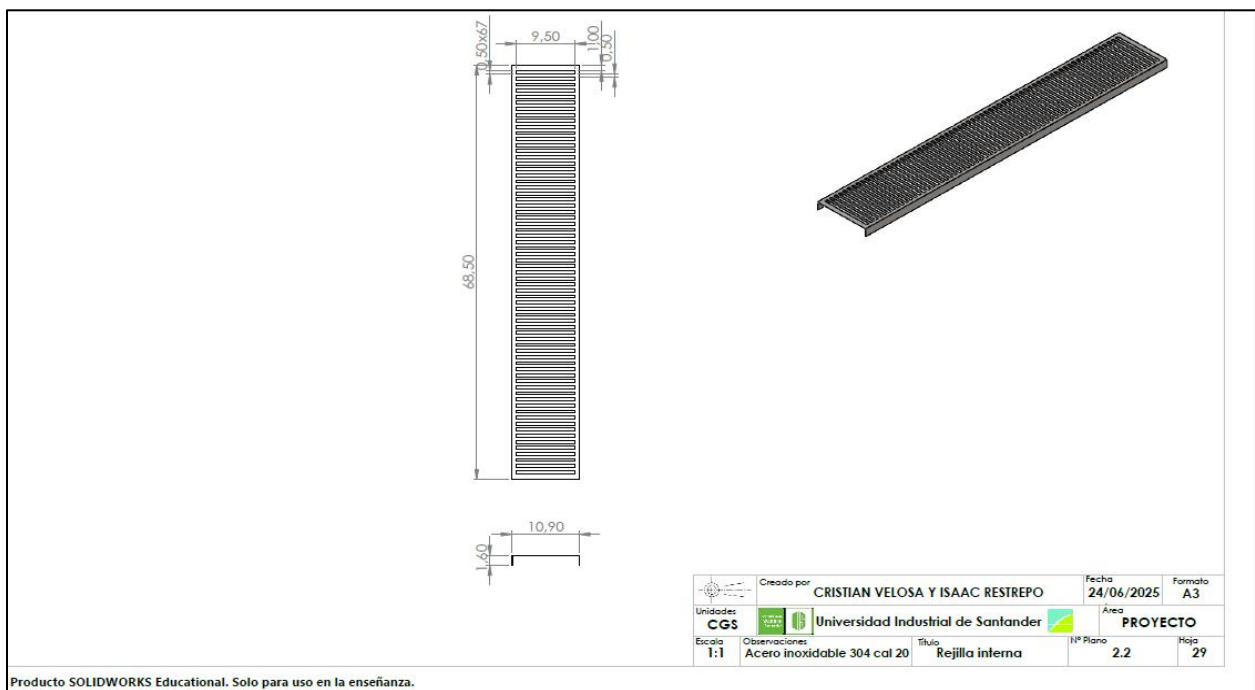
- Porta muestras de cámara salina.



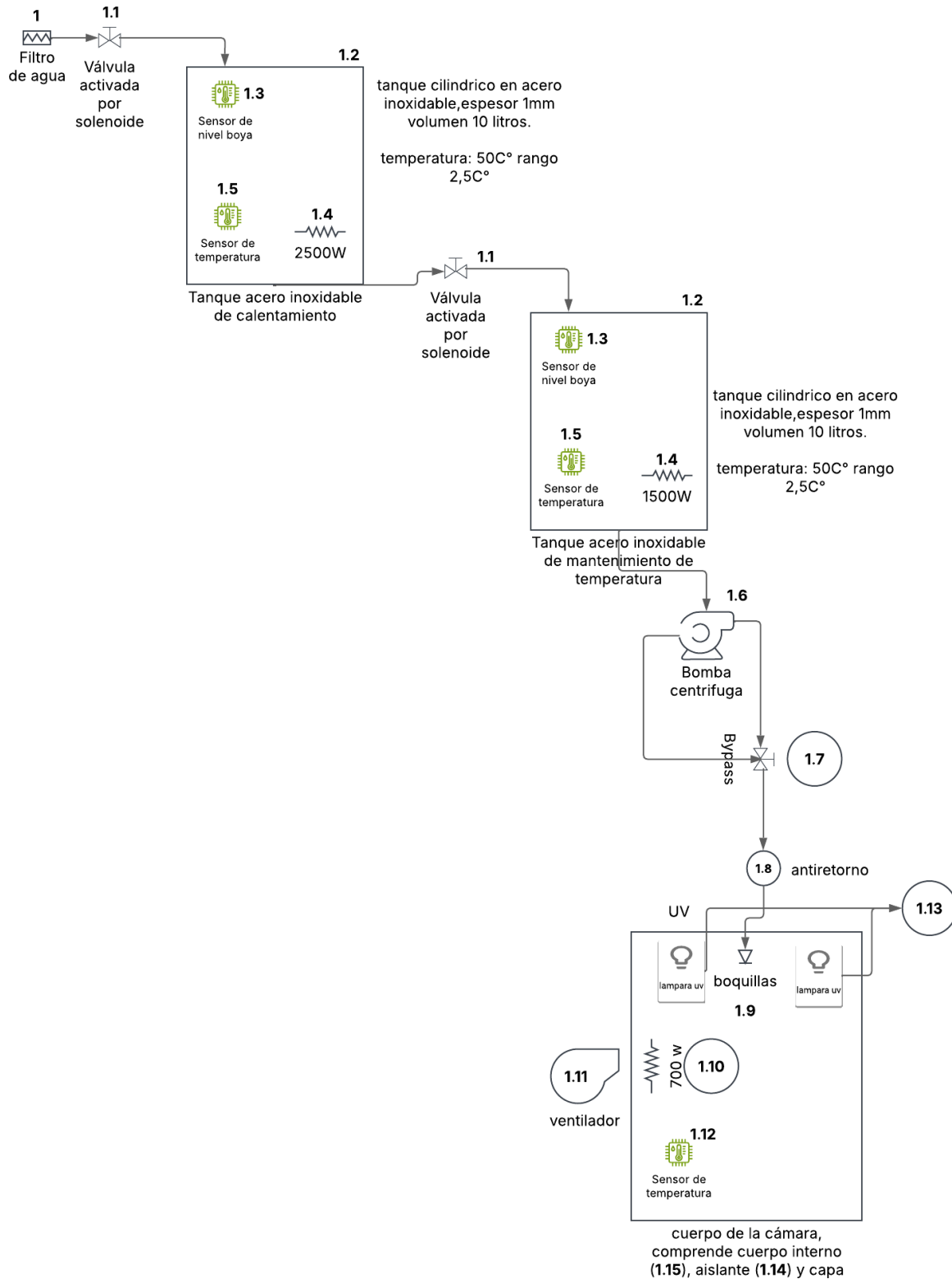
- Tapa de cámara salina.



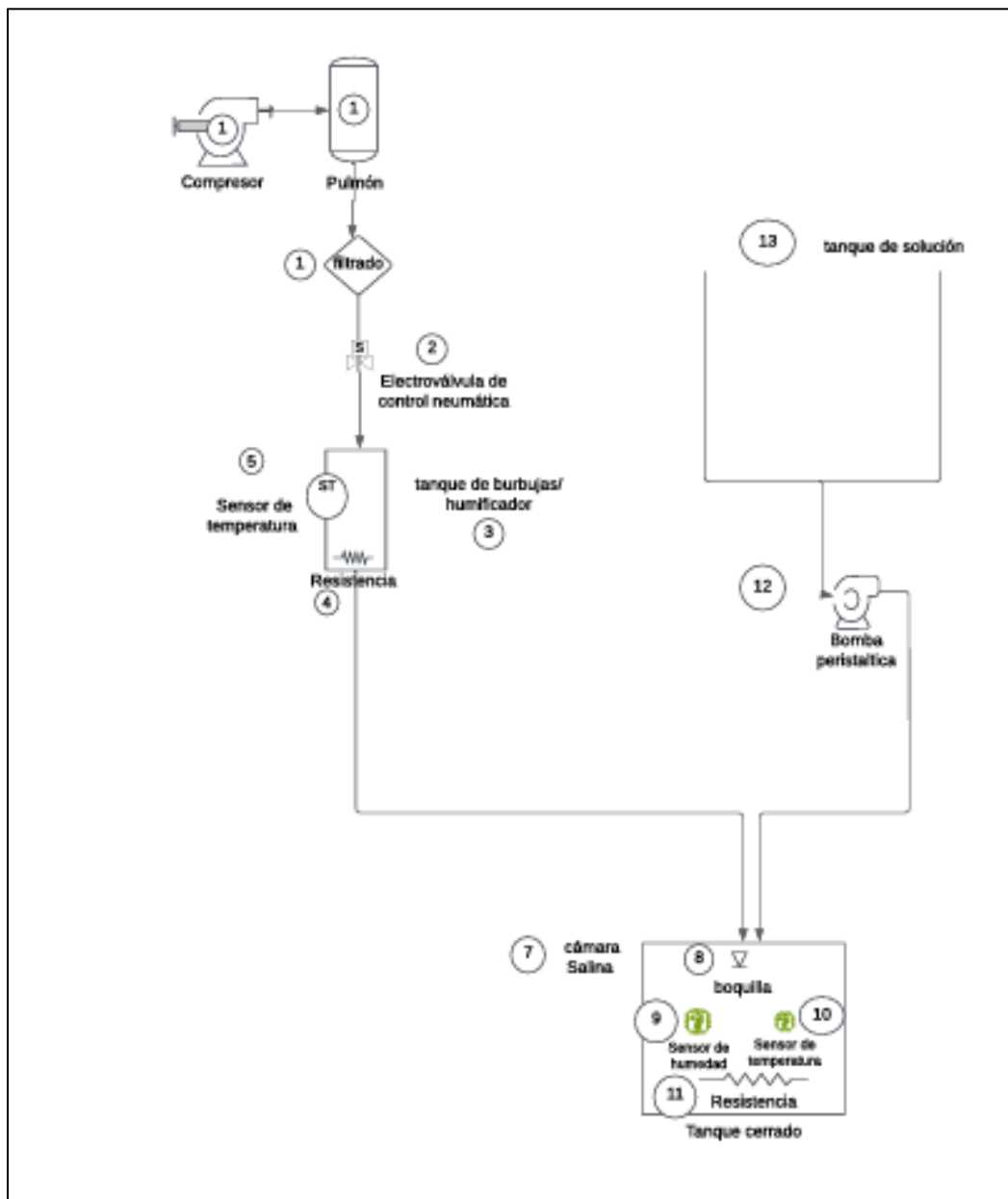
- Rejilla de cámara salina.



- Diagrama cámara UV.

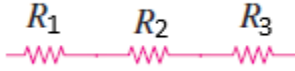
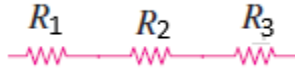
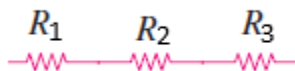
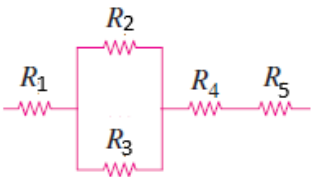


➤ Diagrama Cámara salina

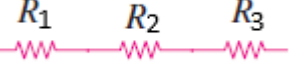
**Apéndice H.**

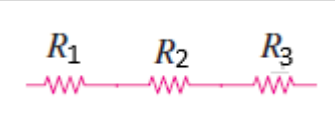
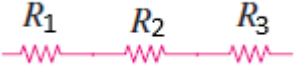
Cálculo de sistema de calefacción.

- Perdida de calor a través de las paredes de la sección UV.

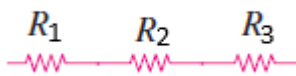
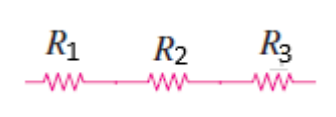

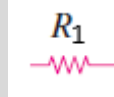
Pared	Material	Área m^2	Esquema de resistencias	Perdida de calor (W)
Lateral izquierda	Acero inoxidable	0.51		20.93
	Fibra de vidrio	0.6341		
	Acero inoxidable	0.6358		
Superior e inferior	Acero inoxidable	0.34		21.045
	Fibra de vidrio	0.4225		
	Acero inoxidable	0.4267		
Trasera	Acero inoxidable	0.24		12.395.
	Fibra de vidrio	0.3519		
	Acero inoxidable	0.3543		
Frontal	Acero inoxidable	0.32775		12.78
	Fibra de vidrio	0.3254		
	Acero inoxidable	0.32775		
	Acero inoxidable	0.00175		
	Empaque siliconado	0.0229		
Q_{TOTAL}				88.08

- Perdida de calor a través del ducto de calefacción de la sección UV.

Pared	Material	Área m^2	Esquema de resistencias	Perdida de calor (W)
Frontal y trasero	Acero inoxidable	0.07		12.93
	Fibra de vidrio	0.097926		
	Acero inoxidable	0.999		

Superior e inferior	Acero inoxidable	0.077		14.1
	Fibra de vidrio	0.1067		
	Acero inoxidable	0.1081		
Laterales	Acero inoxidable	0.21448		20.73
	Fibra de vidrio	0.3140		
	Acero al carbono	0.31725		
Q_{TOTAL}				47.76

- Perdida de calor a través de las paredes de la sección salina.

Pared	Material	Área m^2	Esquema de resistencias	Perdida de calor (W)
Lateral izquierda y derecha	Acero inoxidable	0.2329		11.12
	Fibra de vidrio	0.329149		
	Acero inoxidable	0.331529		
Inferior	Acero inoxidable	0.3596		6.609
	Fibra de vidrio	0.391125		
	Acero inoxidable	0.391125		
Trasera y frontal	Acero inoxidable	0.21		7.3
	Fibra de vidrio	0.21599		
	Acero inoxidable	0.217875		
Superior	Acrílico	0.3254		197.1
Q_{TOTAL}				222.2

- Constantes de energía del sistema para cabina sección salina.

Constante	Valor	Unidad
C_p	4000	$\frac{J}{Kg * ^\circ K}$
ΔT	13	$^\circ C$
m	3	Kg
Conductividad del acrilico	0.25	$\frac{W}{m * ^\circ k}$

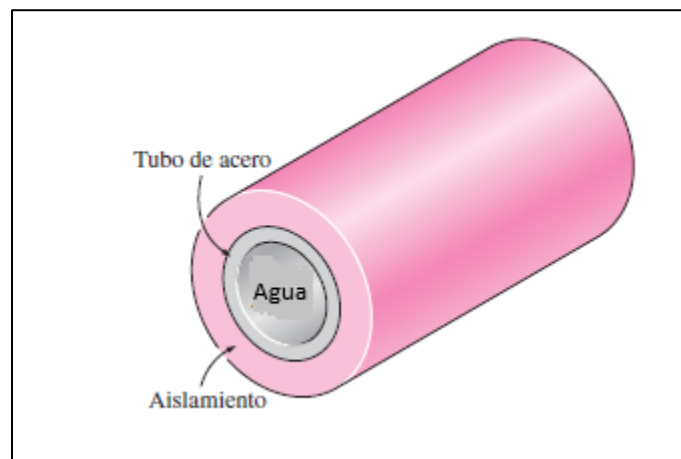
- Cálculo de tiempo de calentamiento de agua salina en la cabina de sección salina con una resistencia de 1500W.

$$Q_{perdida} * t = Pot_{resistencia} * t - C_p * m_{aguasal} * \Delta T$$

$$222.2 * t = 1500 * t - 4000 * 3 * 13$$

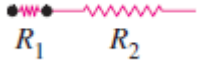
$$t = 120.6 s = 120.6 s * \frac{1 min}{60 s} = 2 min$$

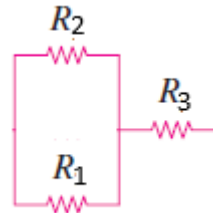
- Esquema de resistencia de tanque de almacenamiento de agua de sección UV.



Nota. La figura fue tomada de: Transferencia de Calor y Masa Yanus A. Çengel.

- Perdida de calor a través de tanque de calentamiento de agua de sección UV.

Pared	Material	Radio m	Esquema de resistencias	Perdida de calor (W)
Cilindro	Acero inoxidable	$\frac{0.10}{0.101}$		57.47
	Aislante	0.116		

Pared	Material	Área m^2	Esquema de resistencias	Perdida de calor (W)
Tapas cilindro	Acero inoxidable	$\frac{0.03204}{0.01022}$		22.31
	Aislante	0.042273		

- Constantes de energía del sistema para tanque de calentamiento de agua de sección UV.

Constantes para tanques de calentamiento	Valor	Unidad
C_p	4186	$\frac{J}{Kg * ^\circ K}$
ΔT	33	$^\circ C$
m	10	Kg

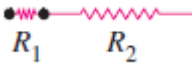
- Cálculo de tiempo de calentamiento de agua en tanque UV con resistencia de 2500W.

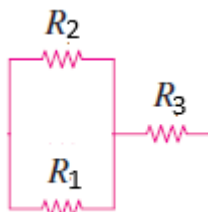
$$Q_{perdida} * t = Pot_{resistencia} * t - C_p * m_{agua} * \Delta T$$

$$79.78 * t = 2500 * t - 4186 * 10 * 33$$

$$t = 570.8 s = 570.8 s * \frac{1 min}{60 s} = 9.513 min$$

- Perdida de calor a través de tanque de almacenamiento de agua que mantiene temperatura de proceso de la sección UV.

Pared ducto	Material	Radio m	Esquema de resistencias	Perdida de calor (W)
Cilindro	Acero	0.10		17.41
	inoxidable	0.101		
	Aislante	0.116		

Pared ducto	Material	Área m^2	Esquema de resistencias	Perdida de calor (W)
Tapas cilindro	Acero	0.03204		6.759
	inoxidable	0.01022		
	Aislante	0.042273		

- Constantes de energía del sistema para tanque de agua que mantiene temperatura.

Constantes para tanques de calentamiento	Valor	Unidad
C_p	4186	$\frac{J}{Kg * ^\circ K}$
ΔT	10	$^\circ C$
m	10	Kg

- Cálculo de tiempo de calentamiento de agua en tanque UV que mantiene temperatura de agua durante el proceso con resistencia de 1500W.

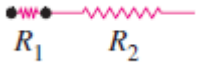
$$Q_{perdida} * t = Pot_{resistencia} * t - C_p * m_{agua} * \Delta T$$

$$24.169 * t = 1500 * t - 4186 * 10 * 10$$

$$t = 283.64 s = 283.64 s * \frac{1 min}{60 s} = 4.7272 min$$

- Perdida de calor a través de tanque humidificador de sección salina.

Pared	Material	Radio m	Esquema de resistencias	Perdida de calor (W)
-------	----------	-----------	-------------------------	----------------------

	0.103 (int)		
Acero inoxidable	-----		
Cilindro	0.105 (ext)		223.2
Yumbolon	0.12		

- Constantes de energía del sistema para humidificador de sección salina.

Constantes para tanque de calentamiento	Valor	Unidad
C_p	4186	$\frac{J}{Kg * ^\circ K}$
ΔT	13	$^\circ C$
m	8	Kg

- Cálculo de Tiempo de Calentamiento de Agua en Humidificador Con Una Resistencia de 1500W.

$$Q_{perdida} * t = Pot_{resistencia} * t - C_p * m_{agua} * \Delta T$$

$$23.69 * t = 1500 * t - 4186 * 8 * 13$$

$$t = 249.9 s = 249.9 s * \frac{1 min}{60 s} = 4.915 min$$

Apéndice I.

Manual de uso de la máquina.

Antes de utilizar las cámaras de envejecimiento acelerado verifique que todos los sistemas se encuentren en perfecto estado, es decir, las piezas estén sin juegos o movimientos que no sean de su funcionamiento normal, fugas en el sistema, desajustes, entre otros.

Posteriormente asegúrese que la fuente de energía y suministro de agua se encuentren disponibles, esto en cuanto a la cabina UV, para la cámara salina asegúrese de que el tanque de solución y humidificador se encuentren llenos, además, corrobore que la cámara se encuentre en una zona con ventilación, asegure los frenos de las mesas y que las cámaras estén bien posicionadas.

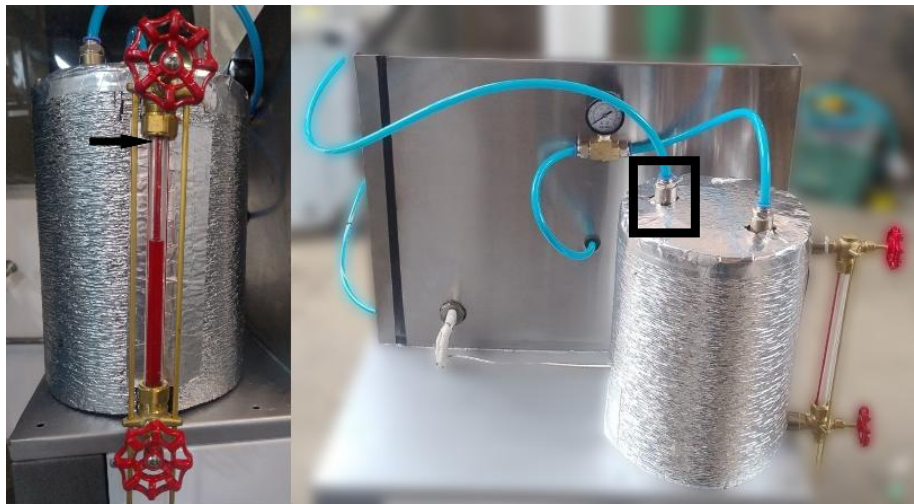
Antes de usar el dispositivo drene los pulmones de los compresores de la cámara salina, las válvulas de drenado se encuentran en la parte inferior derecha de los pulmones, además una vez enchufadas ambas cámaras, sin encender la maquina debe esperar en un lapso de 10-15 minutos que los compresores carguen y los tanques de agua de la sección UV se llenen de agua en un lapso de 20-25 minutos. Además, no manipule los temporizadores que controlan el funcionamiento de los compresores en paralelo ni altere los manómetros del sistema de aire comprimido.



Revise periódicamente el nivel de solución en el tanque de agua salina, si el nivel se encuentra bajo prepare la solución y realice el llenado del tanque. Para preparar la solución mezcle

sal de alta pureza con agua tipo IV o destilada, el porcentaje de sal debe ser el 5% de la masa de agua. Para más información revise la norma ASTM B117.

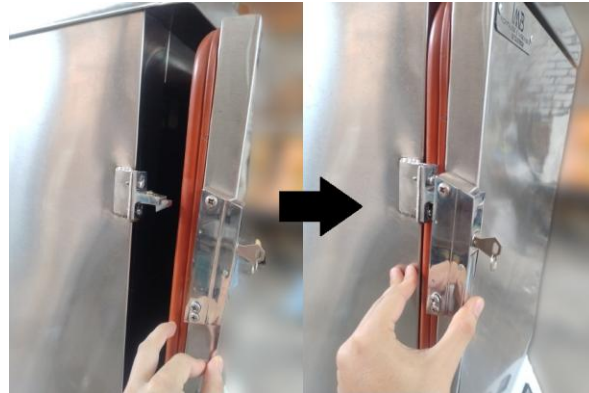
Revise periódicamente el nivel de agua en el tanque humidificador, llene el tanque hasta el nivel indicado en la flecha y el nivel mínimo de agua es de 7 cm por debajo de la flecha indicadora, para llenar el tanque desconecte las líneas de suministro y descarga, luego, realice el llenado a través del racor de la línea proveniente de los compresores.



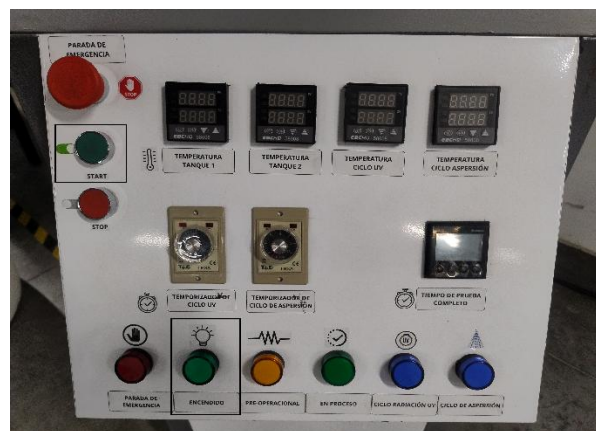
A continuación, se describe el procedimiento paso a paso para la operación de los equipos, siga cada uno de los pasos mencionados para un correcto funcionamiento de la maquina y evitar posibles errores o daños los cuales afecten la maquina y causen su inhabilitación. Es relevante mencionar que se deben utilizar los respectivos EPP (elementos de protección personal) como guantes, casco, careta, botas y pinzas para recoger las probetas.

- Procedimiento paso a paso para uso de la cabina UV.

1. Abra la puerta e ingrese las probetas, posteriormente cierre la puerta de la cabina y asegure con llave.



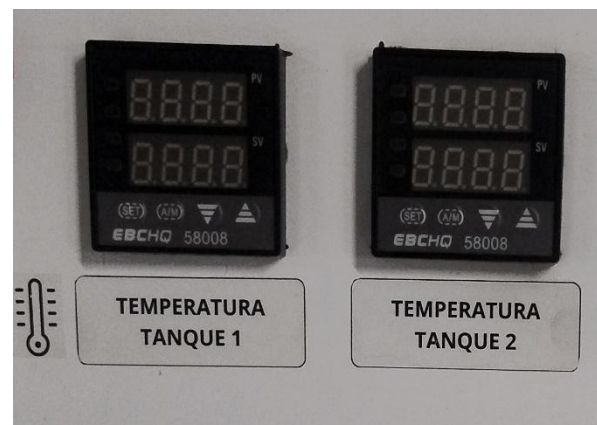
2. Pulse start, para corroborar que la maquina encendió, verifique con el testigo de encendido el cual se puede observar en la siguiente imagen.



3. Establezca la duración de la fase UV y fase de aspersión girando la perilla del temporizador de cada fase, están graduadas en horas y con un rango de 0 a 12 horas. Después de usar la cámara no deje ambos temporizadores en 0.



4. Establezca las temperaturas en los controladores de los tanques de agua (tanque #1 y #2), estos valores deben ser iguales en cada tanque, para ello siga el siguiente procedimiento.



- 4.1 Presione el botón *SET* durante 3 segundos hasta que vea en la pantalla del controlador la opción *ALM1*, luego con los botones hacia arriba o hacia abajo, coloque el valor de temperatura la cual aparece en color verde. La temperatura establecida en la opción *ALM1* es la temperatura a la cual se encenderá la bomba centrífuga.



- 4.2 Espere 15 segundos hasta retornar al menú principal o mantenga presionado el botón *SET* hasta retornar al menú principal.
- 4.3 El valor de ALM1 debe ser menor que el valor establecido en el menú principal de los controladores de los tanques debido a que la temperatura en el menú principal es el deseado para la fase de lluvia. Por ejemplo: si la temperatura de la fase de lluvia es 50°C, el valor en la opción ALM1 en cada tanque debe ser 45-46°C.
- 4.4 Establezca el valor de temperatura para la fase de aspersion en el menú principal de los controladores, con las flechas hacia arriba o hacia abajo coloque el valor de temperatura deseado la cual aparece en color verde.



5. Establezca las temperaturas de Setpoint para fase UV y fase de aspersión en los controladores, no se debe establecer valor de temperatura en la opción ALM1. Cabe aclarar que para el controlador del ciclo de aspersión el valor de temperatura es el mismo que el valor principal de los tanques.



6. Diríjase al temporizador de tiempo de prueba. debe revisar en la parte inferior de la pantalla del temporizador la siguiente sigla (ON OFF D), esto quiere decir que la maquina dejará de hacer la prueba una vez el tiempo establecido concluya. Si no encuentra en pantalla la sigla debe seguir el procedimiento descrito en el video tutorial sugerido para establecer la

opción. Autonics Corporation. (11 de Abril de 2017). *Autonics Tutorial: SERIE LE4S* [Video]. https://www.youtube.com/watch?v=Gc--f_kbImA

7. Para establecer el número de horas del ciclo en general, sume la duración de la fase UV y de aspersion, la suma corresponde a un ciclo, multiplique por el número de veces que quiere que se repita ese ciclo y obtendrá la cantidad total de tiempo, considere agregar 20 minutos más al tiempo para el acondicionamiento de la cámara.

Coloque el tiempo presionando el botón con la flecha hacia la izquierda para desplazarse a través de los números, según la posición en la que se encuentre el numero va a parpadear y con la flecha hacia arriba establezca el valor de dicho número en el rango de 0 a 9.

Parameter	Time range specification
9.999 _s (9.999s)	0.010 sec to 9.999 sec
99.99 _s (99.99s)	0.01 sec to 99.99 sec
999.9 _s (999.9s)	0.1 sec to 999.9 sec
9999 _s (9999s)	1 sec to 9999 sec
99 ^m 59 _s (99m59s)	0 min 01 sec to 99 min 59 sec
999.9 ^m (999.9m)	0.1 min to 999.9 min
9999 ^m (9999m)	1 min to 9999 min
99 ^h 59 ^m (99h59m)	0 hour 01 min to 99 hour 59 min
99.99 ^h (99.99h)	0.01 hour to 99.99 hour
999.9 ^h (999.9h)	0.1 hour to 999.9 hour
9999 ^h (9999h)	1 hour to 9999 hour

Nota. La imagen anterior proviene del manual de uso del temporizador.(Autonics Corporation, 2025)



Si el rango de tiempo no es el requerido, siga el siguiente procedimiento descrito en el video tutorial para establecer el rango de tiempo requerido, se debe establecer el rango en el tercer menú. Autonics Corporation. (11 de Abril de 2017). *Autonics Tutorial: SERIE LE4S* [Video]. https://www.youtube.com/watch?v=Gc--f_kbImA

8. Abra la puerta de la maquina cuidadosamente después de acabar el ciclo y espere un tiempo prudente para que baje la temperatura, luego retire las probetas, no olvide utilizar los respectivos EPP.
9. Apague el dispositivo si no se va a requerir más de su servicio y posteriormente desenchufe el dispositivo de la fuente de alimentación, cierre la puerta y asegúrela.



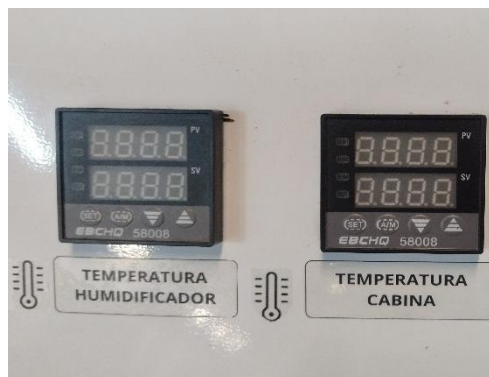
10. Presione el botón de parada de emergencia en caso de que ocurran bajones en el servicio de energía durante la prueba o si se presentan cortes en el suministro de agua durante la prueba o en caso de ser necesario, luego apague la maquina y desenchufe el tomacorriente.



- Procedimiento paso a paso para el uso de la cámara salina.
 1. Abra la tapa, ubique las probetas y los recolectores de muestra salina dentro de la cabina y posteriormente baje la tapa. No olvide utilizar los respectivos EPP.
 2. Enchufe la maquina y pulse start, para corroborar que la maquina encendió revisé el testigo de encendido.



3. Establezca las temperaturas de tanque humidificador y el interior de la cámara salina, se establecen los mismos valores en ambos controladores. A continuación, siga el siguiente procedimiento.



- 3.1 Presione el botón *SET* durante 3 segundos hasta que vea en la pantalla del controlador la opción *ALM1*, luego con los botones hacia arriba o hacia abajo coloque el valor de temperatura la cual aparece en color verde. La temperatura en la opción *ALM1* es la temperatura a la cual se encenderán la bomba peristáltica y los compresores.



3.2 Espere 30 segundos hasta retornar al menú principal o mantenga presionado el botón *SET* hasta retornar al menú principal.

3.3 El valor de ALM1 debe ser menor que el valor establecido en el menú principal de los controladores debido a que la temperatura en el menú principal es el deseado para la prueba. Por ejemplo: si la temperatura en el interior de la cámara salina es 35°C, el valor en la opción ALM1 en cada controlador debe ser 32-33°C.

3.4 Establezca el valor de temperatura principal para la prueba en el menú principal de los controladores, con las flechas hacia arriba o hacia abajo coloque el valor de temperatura deseado la cual aparece en color verde.



4. Diríjase al temporizador de ciclo. debe revisar en la parte inferior de la pantalla del temporizador la siguiente sigla (ON OFF D), esto quiere decir que la maquina dejará de hacer la prueba una vez el tiempo establecido concluya. Si no encuentra en pantalla la sigla debe seguir el procedimiento descrito en el video tutorial sugerido para establecer la opción o para establecer otra. Autonics Corporation. (11 de Abril de 2017). *Autonics Tutorial: SERIE LE4S* [Video]. https://www.youtube.com/watch?v=Gc--f_kbImA

5. Para establecer el número de horas del ciclo coloque el tiempo presionando el botón con la flecha hacia la izquierda para desplazarse a través de los números, según la posición en la que se encuentre el numero va a parpadear y con la flecha hacia arriba establezca el valor de dicho número en el rango de 0 a 9. Considere agregar 20 minutos más al tiempo para el acondicionamiento de la cámara.

Parameter	Time range specification
9.999 _s (9.999s)	0.010 sec to 9.999 sec
99.99 _s (99.99s)	0.01 sec to 99.99 sec
999.9 _s (999.9s)	0.1 sec to 999.9 sec
9999 _s (9999s)	1 sec to 9999 sec
99 ^m 59 _s (99m59s)	0 min 01 sec to 99 min 59 sec
999.9 ^m (999.9m)	0.1 min to 999.9 min
9999 ^m (9999m)	1 min to 9999 min
99 ^h 59 ^m (99h59m)	0 hour 01 min to 99 hour 59 min
99.99 _h (99.99h)	0.01 hour to 99.99 hour
999.9 _h (999.9h)	0.1 hour to 999.9 hour
9999 _h (9999h)	1 hour to 9999 hour

Nota. La imagen anterior proviene del manual de uso del temporizador.(Autonics Corporation, 2025)



Si el rango de tiempo no es el requerido, siga el siguiente procedimiento descrito en el video tutorial para establecer el rango de tiempo requerido, diríjase al tercer menú el cual contiene los rangos de tiempo. Autonics Corporation. (11 de Abril de 2017). *Autonics Tutorial: SERIE LE4S* [Video]. https://www.youtube.com/watch?v=Gc--f_kbImA

6. Suba la tapa de la maquina cuidadosamente después de acabar el ciclo, retire las probetas, no olvide utilizar los respectivos EPP.

7. Apague el dispositivo si no se va a requerir más de su servicio y posteriormente desenchufe el dispositivo de la fuente de alimentación, cierre la puerta y asegúrela.



8. Presione el botón de parada de emergencia en caso de que ocurran bajones en el servicio de energía durante la prueba o si el tanque se queda sin solución durante la prueba o en caso de ser necesario, luego apague la maquina y desenchufe el tomacorriente



Apéndice J.*Manual de mantenimiento.*

- Identificación de la cámara salina

Ficha técnica	
Nombre del equipo	Cámara salina
Código o referencia	
Ubicación	Universidad Industrial de Santander, Ingeniería mecánica, 212
Dimensiones generales	Ancho 110cm, profundo 60cm, alto 160cm
Consumo	40 A~110V
Peso	120 kg
Modelo	1
Año de fabricación	2025

- Identificación de la cámara UV.

Ficha técnica	
Nombre del equipo	Cámara UV
Código o referencia	
Ubicación	Universidad Industrial de Santander, Ingeniería mecánica, 212
Dimensiones generales	Ancho 51cm, profundo 90cm, alto 170cm
Consumo	40 A~100V
Peso	110 kg

Modelo	1
Año de fabricación	2025

- Mantenimiento preventivo de componentes principales de la cámara Salina.

Mantenimiento preventivo de la cámara salina			Código
Componente	Actividad	Frecuencia	Observaciones
Estructura general	Inspección visual	diario	
	Limpieza de superficies	Según uso	
	Pulido o pasivado de acero inoxidable	Semestral	
Compresores	Drenar condensados	Diario	
	Verificar filtro	semanal	
	Inspección visual	Diario	
	Revisar conexiones	mensual	
filtro	Drenaje del condensado	diario	
	Revisar estado del cartucho filtrante	trimestral	
	Inspección visual general	semanal	
	limpieza general	mensual	
Bomba peristáltica	Inspección visual general	semanal	
	verificar estado del tubo	mensual	
	verificar conexiones	mensual	
Tablero de Control	Inspección visual general	mensual	
	Verificación de apriete de bornes y conexiones	trimestral	

- Mantenimiento preventivo de componentes principales de la cámara UV.

Mantenimiento preventivo de la UV			Código
Componente	Actividad	Frecuencia	Observaciones
Estructura general	Inspección visual	diario	
	Limpieza de superficies	Según uso	
	Pulido o pasivado de acero inoxidable	Semestral	
Tanques	drenar de sedimentos	semanal	
	Inspección visual	Diario	
	Revisar conexiones	mensual	
Bomba	Revisar el consumo eléctrico	semestral	
	Revisar estado del cartucho filtrante	trimestral	
	Inspección visual general	semanal	
	limpieza general	mensual	
Turbina	Inspección visual general	semanal	
	Revisar el consumo eléctrico	mensual	
	verificar conexiones	mensual	
lámparas UV	Inspección visual general	semanal	
	verificación de estado de la radiación	Semestral	
Tablero de Control	Inspección visual general	mensual	
	Verificación de apriete de bornes y conexiones	trimestral	

Apéndice K.*Tiempo de calentamiento de material interno sección UV.*

Una vez alcanzada la temperatura de set point para el aire, se determinó cuánto tiempo se requiere para que el interior de la sección UV llegue a la temperatura establecida para la prueba, se realizó el análisis por medio de la conducción de calor en régimen transitorio específicamente por medio de (ecuación 5) *Análisis de sistemas concentrados*: $\frac{T(t)-T_{\infty}}{T_i-T_{\infty}} = e^{-b*t}$. (Çengel & Ghajar, n.d.)

La variable $T(t)$ representa la temperatura a la cual llega el interior, T_{∞} es la temperatura del medio en el que se encuentra el material (el aire que se calienta en la cámara), T_i es la temperatura inicial de la parte interna, b es una variable positiva semejante al tiempo y t es el tiempo. Los valores de temperatura se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 20. Valores de temperatura para el sistema concentrado.

Valores de Temperatura para el sistema concentrado.

Variable	Valor
$T(t)$	68 °C
T_{∞}	70 °C
T_i	≈27 °C

La (ecuación 6) *Constante de tiempo*: $b = \frac{h*A_s}{\rho*V*C_p}$, donde los valores de C_p y ρ son tomados de las tablas del libro de Transferencia de Calor y Masa Yanus A. Çengel. Estos valores son tomados del material acero inoxidable, además se debe encontrar el área superficial y el volumen de la pared más grande.

A continuación, en la siguiente tabla se muestran los valores de variables y constantes en la fórmula para b :

Tabla 21.

Datos para calcular variable b.

Variable	Símbolo	Valor
Coefficiente de transferencia de calor	h	$1.838 \frac{w}{m^2 * ^\circ C}$
Área superficial de la pared	A_s	$0.48 m^2$
Densidad de acero inoxidable	ρ	$7913 kg/m^3$
Volumen de pared	V	$0.00048 m^3$
Calor específico del material	C_p	$456 \frac{J}{Kg * ^\circ C}$

Antes de realizar el cálculo que dice el tiempo que tarda la pared en llegar a la temperatura óptima es necesario determinar el número de Biot. El número de Biot nos permite aclarar si es posible hallar el tiempo por medio del análisis de sistemas concentrados. Por lo tanto, se utilizó la (ecuación 7) *Numero de Biot: $Bi = \frac{h * L_c}{k} < 0.1$.*

Donde h es el coeficiente de transferencia de calor por convección entre el material de la probeta y el aire caliente cuyo valor es $1.838 \frac{w}{m^2 * ^\circ C}$, L_c es la longitud característica de la probeta cuyo valor es $0.001 m$ y k es la conductividad térmica del material interno.

$$Bi = \frac{1.838 * 0.001}{15.6} = 0.0001178$$

Como se observó en el cálculo del número de Biot se cumplió con la condición para aplicar análisis de sistemas concentrados. Por consiguiente, se calcula la variable b :

$$b = \frac{1.838 * 0.48}{7854 * 0.0000635 * 434} = 0.0005093 s^{-1}$$

Posteriormente se reemplazaron los valores y se encontró el tiempo que tarda el material interno en llegar a la temperatura.

$$\frac{68 - 70}{27 - 70} = e^{-0.0005093*t}$$

$$t = 6024 \text{ seg} = \mathbf{100 \text{ min}}$$

Apéndice L.

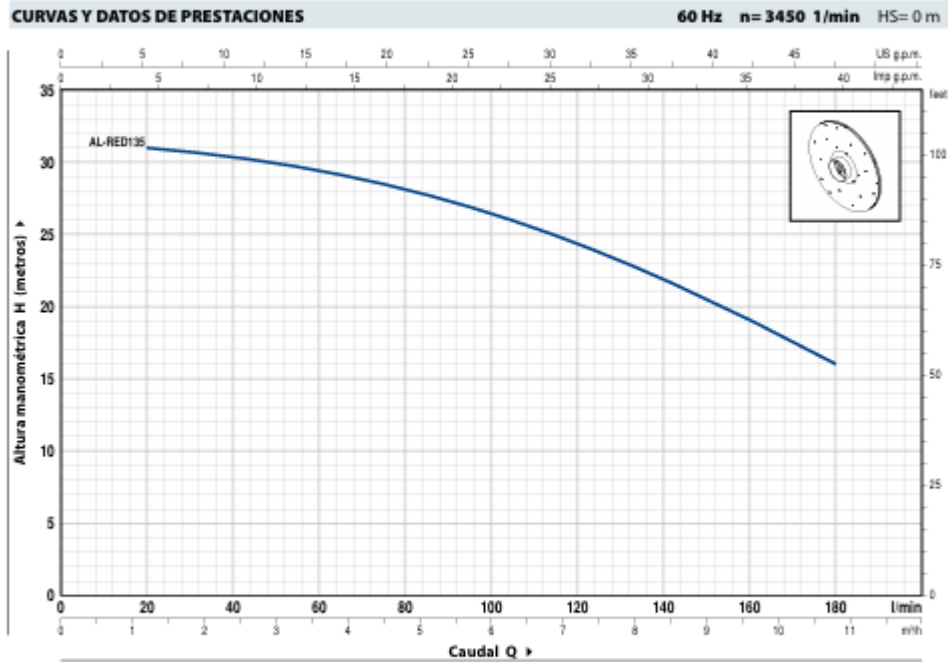
Datos técnicos.

- Datos técnicos la boquilla aire-agua para cámara salina.

DATOS TECNICOS

Spray Set-up No.	Liquid Capacity (liters per hour)* and Air Capacity (liters per minute)*															Spray Angle A (°)
	Liquid Pressure															
	0.7 bar			1.5 bar			2 bar			3 bar			4 bar			
Air Press.	l/h	Air l/min	Air Press.	l/h	Air l/min	Air Press.	l/h	Air l/min	Air Press.	l/h	Air l/min	Air Press.	l/h	Air l/min		
SU11	.70	2.5	15.6	1.1	6.4	11.9	1.4	6.4	13.9	2.7	6.2	23	3.5	7.8	28	13 - 15
	.85	1.8	19.0	1.4	5.0	15.0	1.7	5.5	16.7	2.8	5.7	25	3.7	7.3	29	
	1.0	1.4	22	1.7	4.1	18.7	2.0	4.5	19.8	3.0	5.2	27	3.9	6.4	33	
	–	–	–	1.8	3.4	20	2.2	3.4	24	3.1	4.7	29	4.2	5.5	38	
	–	–	–	2.0	3.0	23	2.4	3.0	26	3.2	4.3	31	4.5	4.5	43	
	–	–	–	2.1	2.6	25	2.5	2.5	28	3.4	3.9	33	4.6	4.1	45	
	–	–	–	2.2	2.0	27	2.7	2.3	31	3.7	3.0	38	4.8	3.7	47	
SU12A	.70	2.5	18.7	1.4	5.7	27	1.7	6.7	29	2.2	9.2	34	2.8	11.9	39	12 - 15
	.85	2.0	22	1.5	5.2	29	1.8	6.4	31	2.5	8.2	39	3.1	11.0	43	
	1.0	1.6	26	1.7	4.8	32	2.0	5.9	34	2.8	7.2	44	3.4	10.1	47	
	–	–	–	1.8	4.3	35	2.1	5.2	37	3.0	6.7	47	3.7	9.2	52	
	–	–	–	2.0	3.9	37	2.2	4.8	40	3.1	6.3	49	3.9	8.4	58	
	–	–	–	2.1	3.4	40	2.4	4.3	43	3.2	5.9	52	4.2	7.6	62	
	–	–	–	–	–	–	2.7	3.6	48	3.4	5.5	55	4.5	6.8	68	

- Ficha técnica de la bomba pedrollo utilizada en la cámara UV.



MODELO		POTENCIA		Q	Caudal																	
Monofásica	Trifásica	kW	HP		0	1.2	1.8	2.4	3	3.6	4.2	4.8	5.4	6	6.6	7.2	7.8	8.4	9	9.6	10.2	10.8
AL-RED 135m	AL-RED 135	0.75	1	H metros	32	31	30.8	30.5	30	29.5	28.8	28.1	27.3	26.4	25.4	24.4	23.2	22	20.7	19.3	17.7	16

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según ENISO 9908 Grade 3.

- Datos técnicos de las lámparas UV utilizadas en la cámara UV

Datos del producto

Información general	
Base del casquillo	G13 [Medium Bi-Pin Fluorescent]
Fallos vida útil hasta 50 % (nom.)	13.000 hora(s)
Vida útil (nom.)	9.000 hora(s)

Datos técnicos de la luz

Código de color	10
Designación de color	Actinic
Coordenada X de cromacidad (Nom)	222
Coordenada Y de cromacidad (Nom)	210
Depreciación de UV a 2000 h	8 %
Depreciación de UV a 5000 h	12 %
Depreciación de UV a 8000 h	16 %

Operativos y eléctricos

Consumo de energía	18 W
Corriente de lámpara (nom.)	0,36 A
Voltaje (nom.)	59 V

Mecánicos y de carcasa

Forma de la bombilla	T26
----------------------	-----

Peso neto (pieza)	71.000 g
-------------------	----------

Aprobación y aplicación

Contenido de mercurio (Hg) (nom.)	5,0 mg
Marca CE	Si

UV

Radiación UV-A 100 horas (IEC)	5,0 W
--------------------------------	-------

Datos de producto

Nombre de producto del pedido	Actinic BL TL-D 18W/10 1SL/25
Nombre completo del producto	Actinic BL TL-D 18W/10 1SL/25
Full EOC	871150026325440
Código de pedido	26325440
Código 12NC	928048001003
Cantidad por paquete	1
EAN/UPC - Producto/Caja	8711500263254
Numerador SAP - Paquetes por caja exterior	25
Embalaje con código EAN/UPC	8711500263261

- Datos técnicos de las boquillas de la cámara UV.

ESPECIFICACIONES TECNICAS

Style NO.			Orifice Dia. (mm)	Core No.	Flow rate(L/h)							Spray angle		
AAZ-W	AAZ-N	AAZ-M			2bar	5bar	10bar	15bar	20bar	50bar	70bar	3bar	6bar	20bar
1/4AAZ W0.60	1/4AAZ N0.60	1/4AAZ M0.60	0.41	206			4.3	5.3	6.1	9.7	11.4		35°	65°
1/4AAZ W1	1/4AAZ N1	1/4AAZ M1	0.51	210		5.1	7.2	8.8	10.2	16.1	19.1		45°	72°
1/4AAZ W1.5	1/4AAZ N1.5	1/4AAZ M1.5	0.51	216	4.8	7.6	10.8	13.2	15.3	24	29		65°	72°
1/4AAZ W2	1/4AAZ N2	1/4AAZ M2	0.71	216	6.4	10.2	14.4	17.7	20	32	38		70°	77°
1/4AAZ W3	1/4AAZ N3	1/4AAZ M3	0.71	220	9.7	15.3	22	26	31	48	57		65°	73°
1/4AAZ W4	1/4AAZ N4	1/4AAZ M4	1.1	220	12.9	20	29	35	41	64	76		72°	84°
1/4AAZ W6	1/4AAZ N6	1/4AAZ M6	1.1	225	19.3	31	43	53	61	97	114		73°	81°
1/4AAZ W8	1/4AAZ N8	1/4AAZ M8	1.5	225	26	41	58	71	82	129	153		85°	91°

Dimensiones

		Dimension (MM)			
Nozzle model	Thread size	D	d	L	N.W (g)
AAZ-W	1/4"	20.4	13.1	51.9	93.9