



**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y
TECNOLOGÍA**

TRABAJO FIN DE GRADO

**Diseño de una cámara de niebla
salina para ensayos de corrosión.**

Por

Adrián Lorenzo Padrón Padilla

Leandro Pérez Cedrés

La Laguna, MARZO DE 2016

ULL

Universidad
de La Laguna

Escuela Superior de
Ingeniería y Tecnología

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y
TECNOLOGÍA**

ÍNDICE

**Diseño de una cámara de niebla
salina para ensayos de corrosión.**

Por

Adrián Lorenzo Padrón Padilla

Leandro Pérez Cedrés

La Laguna, MARZO DE 2016

CAPÍTULOS:

I – ÍNDICE GENERAL

II – MEMORIA

III – ANEXO

IV – PLANOS

V – PLIEGO DE CONDICIONES

VI - PRESUPUESTO

II. ÍNDICE DE CONTENIDO. MEMORIA

2.1	Hoja de identificación.....	15
2.2	Objetivo	17
2.3	Marco teórico.....	18
2.3.1	La corrosión	18
2.3.2	Tipos de corrosión	20
2.3.2.1	Corrosión uniforme	20
2.3.2.2	Corrosión no uniforme	21
2.3.2.3	Corrosión galvánica o bimetálica.....	21
2.3.2.4	Corrosión en grietas	22
2.3.2.5	Corrosión por picaduras	23
2.3.2.6	Corrosión intergranular	24
2.3.2.7	Corrosión activada por acción mecánica:.....	25
2.3.2.8	Corrosión por fricción o fretting	27
2.3.2.9	Corrosión - fatiga	28
2.3.3	Hechos históricos	29
2.3.4	Impacto económico de la corrosión	33
2.3.5	Protección contra la corrosión	34
2.3.6	Ensayos de corrosión	36
2.3.7	Cámara de niebla	39
2.4	Alcance	40
2.5	Antecedentes.....	41
2.6	Normas y referencias	42
2.6.1	Disposiciones legales y normas aplicadas	42
2.6.2	Bibliografía.....	43
2.6.3	Programas de Cálculo	45
2.7	Definiciones y abreviaturas	45

2.8	Requisitos de diseño	46
2.8.1	Elementos de la Cámara de niebla.	52
2.8.1.1	Cámara de niebla. Depósito principal	54
2.8.1.2	Soporte de la cámara	55
2.8.1.3	Termostato de regulación	56
2.8.1.4	Resistencia de calefacción.....	56
2.8.1.5	Termómetro de vigilancia	58
2.8.1.6	Depósito de solución salina. Auxiliar	58
2.8.1.7	Soporte del depósito de solución salina	60
2.8.1.8	Tubo de aspersion.....	60
2.8.1.9	Cubierta de la cámara principal (4 aguas)	61
2.8.1.10	Tapa del depósito de solución salina.....	62
2.8.1.11	Válvula de paso	62
2.8.1.12	Porta-probetas.....	63
2.8.1.13	Tapón del sumidero	64
2.8.1.14	Pluviómetro	65
2.8.1.15	Boquilla nebulizadora	65
2.8.1.16	Compresor	66
2.8.2	Ficha técnica de la cámara de niebla.....	67
2.9	Conclusiones.....	68

III. ÍNDICE DE CONTENIDO. ANEXO

3.1	Introducción.....	73
3.2	Cálculo de Tensión del soporte de la cámara.	73
3.3	Cálculo de Tensión en el soporte del depósito de solución salina.	75

IV. ÍNDICE DE CONTENIDO. PLANOS

4.1 Planos de conjunto.....	79
4.1.1 Plano de conjunto: Explosión Cámara de niebla	79
4.1.2 Plano de subconjunto: Cámara de niebla	81
4.1.3 Plano de subconjunto: Depósito de solución salina.....	83
4.2 Planos	85
4.2.1 Soporte de la cámara.....	85
4.2.2 Cámara de niebla	87
4.2.3 Porta probeta	89
4.2.4 Tubo de aspersión	91
4.2.5 Cubierta de la cámara de niebla.....	93
4.2.6 Soporte depósito de solución	95
4.2.7 Depósito de solución.....	97
4.2.8 Tapa de depósito de solución.....	99

V. ÍNDICE DE CONTENIDO. PLIEGO DE CONDICIONES

5.1 Definición y alcances del pliego.....	94
5.2 Condiciones generales	94
5.3 Condiciones particulares.....	94
5.3.1 Condiciones legales y condiciones económicas	94
5.3.2 Condiciones facultativas y del fabricante.	94
5.3.2.1 Funciones facultativas del Ingeniero Director	94
5.3.2.2 Funciones del fabricante.....	95
5.3.3 Condiciones técnicas.....	96
5.3.3.1 Instrucciones de seguridad	96
5.3.3.2 Condiciones de los materiales	97

5.3.3.3 Tolerancias	98
5.3.3.4 Acabado superficial.....	99
5.3.3.5 Montaje.....	99
5.3.3.6 Mantenimiento	114
6.1 Elementos de unión, fijación y conducto.....	118
6.2 Componentes principales de la cámara.	119
6.3 Coste final.....	121
6.4 Presupuestos	121
6.5 Anexo. Catálogos y facturas.....	121

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1 Oxidación de hierro en un tornillo. Fuente: www.Guíaquimica.com	19
Figura 2. Efecto de la corrosión en un navío. Fuente: http://cienciabasica.com/corrosion/	20
Figura 3 y Figura 4. Soportes de refuerzo de distinto material respecto a la barandilla situada en la facultad Física y Matemáticas ULL. Fuente: Propia.	22
Figura 5. Diagrama esquemático del mecanismo de corrosión por grietas. Fuente: William F. Smith.	23
Figura 6. Jarrón bajo los efectos de la corrosión por picaduras. Fuente: http://www.corrosion-doctors.org/7	24
Figura 7. Corrosión por erosión. Fuente: http://www.pairodocspro.com/	25
Figura 8. Corrosión por cavitación. Fuente: http://blog.utp.edu.com/	26
Figura 9. Corrosión bajo tensiones. Fuente: http://www.cedinox.es/	27
Figura 10. Corrosión por fricción. Fuente: http://blog.utp.edu.co/	28
Figura 11. Corrosión por fatiga. Fuente: http://endalloy.net/	29
Figura 12. Daños causados en el barrio céntrico de Guadalajara, 22 de abril de 1992. Fuente: http://mexico.cnn.com/	31
Figura 13. Foto del lado izquierdo del vuelo 243 de Aloha Airlines accidentado el 29 de abril de 1988. Fuente: https://elsecretodelospajaros.files.wordpress.com	32
Figura 14. F16 de la USAF estrellado por fallas en el motor. Fuente: Wikipedia.com	33

Figura 15. Ejemplo de una cámara de niebla salina en mercado. Fuente:	
Directindustry.com	40
Figura 16. Grieta central de la cámara de niebla salina. Fuente: Propia	42
Figura 17. Primer diseño. Cámara cilíndrica.....	49
Figura 18. Segundo diseño. Cámara de tapa inclinada.....	50
Figura 19. Tercer diseño. Cámara de cubierta a dos aguas	51
Figura 20. Cuarto diseño .Cámaras separadas.....	51
Figura 21. Cámara de niebla salina, depósito principal. Fuente: Propia	55
Figura 22. Soporte de la cámara. Fuente: Propia.....	56
Figura 23. Termostato. Fuente: Fondear.com.....	56
Figura 24. Resistencia de calefacción. Fuente: Fondear.com.....	57
Figura 25. Resistencia de calefacción y bulbo conectados. Fuente: Fondear.com.....	57
Figura 26. Subconjuntos y conjunto Resistencia-termostato. Fuente: Fondear.com	57
Figura 27. Termómetro de varilla. Fuente: Areashop.com.....	58
Figura 28. Depósito de solución salina. Fuente: Propia	59
Figura 29. Soporte del depósito de solución salina. Fuente: Propia.....	60
Figura 30. Tubo de aspersion. Fuente: Propia	61
Figura 31. Cubierta de la cámara principal. Fuente: Propia	61
Figura 32. Tapa del depósito de solución salina. Fuente: Propia	62
Figura 33. Válvula de paso. Fuente: Estanques.eu	63
Figura 34. Porta-probeta. Ángulo: 65°. Fuente: Propia	63
Figura 35. Porta-probeta. Ángulo: 70°. Fuente: Propia	64
Figura 36. Porta-probeta. Ángulo: 75°. Fuente: Propia	64
Figura 37. Tapón del sumidero. Fuente: Catálogo de Leroy Merlín	64
Figura 38. Pluviómetro. Embudo sobre probeta. Fuente: valkanik.com	65
Figura 39. Adaptador y Boquilla nebulizadora. Fuente: Álava ingenieros	66
Figura 40. Compresor BW 2421. Fuente: LeroyMerlin.com	67
Figura 41. Gráfica de Tensión (Von Mises). Aplicando control de mallado	75
Figura 42 Cálculo de las tensiones en el soporte principal de la cámara de niebla.....	75
Figura 43. Gráfica de Tensión (Von Mises). Aplicando control de mallado	76
Figura 44. Cálculo de tensiones en el soporte del depósito de solución salina	85
Figura 45. Cilindros salientes para conectar.....	99
Figura 46. Ensamble de la cámara de niebla (depósito principal) con su soporte y unión de	100

Figura 47. Ensamble del depósito de solución salina con su soporte y unión de conducto. Fuente: Propia	101
Figura 48. Base donde se asentará la boquilla nebulizadora y unión de los conductos (aire y solución) a los agujeros extremos de la boquilla. Fuente: Propia	102
Figura 49. Juntas tóricas para asegurar la estanqueidad de fluidos. Fuente: Propia.....	103
Figura 50. Boquilla nebulizadora. Fuente: Alava ingenieros	103
Figura 51. Señalización de la válvula de paso que une los dos tramos de manguera desde la cámara de niebla (depósito principal) hasta el depósito de solución salina. Fuente: Propia.....	104
Figura 52. Adaptador inoxidable de la boquilla nebulizadora. Fuente: Alava ingeniero.	105
Figura 53. Conexión del 1º,2º y 3º tramo de manguera. Fuente: Propia.	106
Figura 54. Resistencia de calefacción y bulbo conectados. Fuente: Areashop.com ...	106
Figura 55. Ensamble del sistema resistencia y termostato mediante rosca a la cámara. Fuente: Propia.....	107
Figura 56. Ensamble del termómetro de vigilancia mediante rosca. Fuente: Propia ..	108
Figura 57. Ensamble de dos Porta-probetas en los soportes diseñados. Fuente: Propia	109
Figura 58. Ensamble tubo de corrección	109
Figura 59. Ensamble del pluviómetro con la base de la cámara de niebla salina. Fuente: Propia.....	110
Figura 60. Ensamble de la cubierta de la cámara. Fuente: Propia.....	110
Figura 61. Ensamble de la cubierta del depósito Fuente: Propia.....	111

ULL

Universidad
de La Laguna

Escuela Superior de
Ingeniería y Tecnología

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y
TECNOLOGÍA**

MEMORIA

**Diseño de una cámara de niebla
salina para ensayos de corrosión.**

Por

Adrián Lorenzo Padrón Padilla

Leandro Pérez Cedrés

La Laguna, MARZO DE 2016

2.1 Hoja de identificación

Título del proyecto

Diseño de una cámara de niebla salina para ensayos de corrosión.

Emplazamiento geográfico concreto

Dirección: Calle Astrofísico Francisco Sánchez.

Término municipal: San Cristóbal de La Laguna

Provincia: Santa Cruz de Tenerife.

Persona física o jurídica que se ha encargado del proyecto

Nombre: Escuela superior de Ingeniería y Tecnología.

Dirección: Calle Astrofísico Francisco Sánchez.

Término municipal: San Cristóbal de La Laguna

Provincia: Santa Cruz de Tenerife.

Datos de los autores del proyecto

Nombre: Adrián Lorenzo Padrón Padilla.

NIF: 54108242J

Dirección: Camino. San Bartolomé de Geneto, N° 154

C.P: 38296

Teléfonos de contacto: 663819896

Correo electrónico: adrianlpadilla93@gmail.com

Nombre: Leandro Pérez Cedrés.

NIF: 54050810M

Dirección: Calle Volcán Elena, número 41, portal E, 4°C.

C.P: 38108

Teléfonos de contacto: 616223991

Correo electrónico: lpcedres@hotmail.com

Estudios: Grado en Ingeniería Mecánica correspondiente al título de Ingeniero Técnico Industrial especializado en Mecánica.

Responsable de la tutoría del proyecto

Nombre: María Milagros Laz Pavón

Ubicación: Calle Astrofísico Francisco Sánchez. Despacho 4ª planta, Torre 2, Facultad de Biología.

Teléfono (despacho/tutoría): 922318627

Correo electrónico: mlaz@ull.edu.es

Nombre: María Hernández Molina

Ubicación: Calle Astrofísico Francisco Sánchez. Despacho 4ª planta, Torre 2, Facultad de Biología.

Teléfono (despacho/tutoría): 922318631

Correo electrónico: mhdez@ull.edu.es

2.2 Objetivo

El presente Trabajo de fin de Grado tiene como objetivo realizar el diseño de una cámara de niebla salina, que se utiliza para llevar a cabo ensayos de resistencia a la corrosión en elementos metálicos y revestimientos. Siguiendo la normativa correspondiente.

La cámara de niebla salina se presenta como propuesta al Área de Ciencias de Materiales e Ingeniería Metalúrgica.

Al diseñar la cámara de niebla, se pretende obtener un diseño ligero para que se pueda trasladar sin problemas y con las paredes transparentes para poder observar el desarrollo del ensayo de corrosión. Al tener visibilidad del interior de la cámara, se puede utilizar para que los estudiantes observen y analicen las probetas sometidas a ensayos corrosivos, de manera sencilla, segura y directa.

Por lo tanto, mediante esta cámara se realizan ensayos que permiten conocer y asociar de manera práctica conceptos como la interacción de la temperatura o la variación del caudal con la corrosión. De este modo, se reforzarán los conceptos teóricos impartidos relacionados con la corrosión, además de resaltar la importancia del estudio de los materiales y sus características en el campo de la ingeniería.

2.2 Object

The final year project aims to design a fog saline chamber, which is used to do corrosion resistance experiment in metal elements and covering. Following the corresponding law.

The fog saline chamber is presented as a proposal to the Area Materials Science and Metallurgical Engineering.

To design the fog saline chamber a light design is required so that it can be moved without problems and with transparent walls to observe the development of the corrosion test. By having visibility into the chamber, it can be used by the students to observe and analyse the sample subdued to corrosion tests in a simple, sure and direct way.

Therefore, with the chamber corrosive test are done to allow knowing and liking in a practice way concepts like the interaction of the temperature or the variation of flow with

the corrosion. Thus, the theoretical concepts which are given and related with the corrosion will be reinforced, while stressing the importance of the study of the materials and their characteristics in the field of engineering.

2.3 Marco teórico

2.3.1 La corrosión

La corrosión se define como el ataque destructivo de un metal producido por su ambiente. Este ataque es electroquímico y empieza en la superficie. Puesto que la corrosión es una reacción química, la velocidad a la cual ocurre dependerá hasta cierto punto de la temperatura y de la concentración de los reactivos y productos. Además se puede producir el fenómeno de corrosión a consecuencia del movimiento de un agente corrosivo sobre una superficie de metal (erosión) o de un esfuerzo mecánico.

De la misma forma, existe un proceso espontáneo en el que los metales regresan a su estado natural primitivo de oxidación, impulsados termodinámicamente después de ser transformado por el hombre mediante procesos metalúrgicos

Algunos metales se encuentran en la naturaleza en estado combinado, formando óxidos, sulfuros o carbonatos. En estos estados combinados las energías libres de los metales son menores, que cuando se encuentran en estado metálico y, por ello, hay una tendencia espontánea a que los metales reaccionen químicamente para formar compuestos.

Un ejemplo familiar de corrosión es la oxidación del hierro (figura 1). Los óxidos de hierro existen comúnmente en la naturaleza y son reducidos a hierro con energía térmica, el cual se encuentra en un estado de energía más alto como se explica en el párrafo anterior. Por tanto, existe una tendencia para que el hierro metálico regrese de manera espontánea a óxido de hierro. De manera que por medio de una reacción química, en la que se combina el hierro con oxígeno y agua, se forma el óxido de hierro hidratado, dejando como resultado el propio óxido de hierro. Como consecuencia se pierde metal, se deteriora la superficie y se forman compuestos de propiedades diferentes a la original.



Figura 1 Oxidación de hierro en un tornillo. Fuente: www.Guíaquímica.com

Los materiales cerámicos son relativamente resistentes al deterioro, que generalmente ocurre a elevadas temperaturas y en ambientes extremos, es decir, no sufren el ataque electroquímico pero pueden experimentar un deterioro por ataque químico directo.

En dichos materiales, también se suele producir un deterioro mecánico ya que al ser compuestos iónicos en su mayoría, no son susceptibles de oxidación en su valencia porque ya están oxidados, por ello su deterioro corresponde a causas mecánicas fundamentalmente.

El mecanismo y las consecuencias de la interacción polímeros-ambiente son diferentes de los metales y cerámicas. Algunos polímeros orgánicos se degradan a causa del ataque químico de los disolventes orgánicos.

Otros, en contacto con un disolvente líquido, pueden disolverse o pueden absorberlo e hincharse, lo cual causa cambios en las dimensiones o en sus propiedades. También las radiaciones electromagnéticas (principalmente la ultravioleta) y el calor deteriora a algunos polímeros, alterando su estructura molecular.

En consecuencia, la corrosión es un proceso destructivo en cuanto a lo que se refiere a la ingeniería y representa una enorme pérdida económica (figura 2). Por tanto, no es sorprendente que el ingeniero que trabaja en la industria tenga que ver con el control y prevención de la corrosión.



Figura 2. Efecto de la corrosión en un navío. Fuente: <http://cienciabasica.com/corrosion/>

2.3.2 Tipos de corrosión

Se clasifica la corrosión según el modo en el que ésta se manifiesta. Es posible identificar muchas formas, aunque todas ellas se interrelacionan en diversos grados:

2.3.2.1 Corrosión uniforme

La corrosión uniforme consiste en un ataque homogéneo sobre toda la superficie expuesta al medio agresivo y conlleva la formación de óxidos sobre dicha superficie. A nivel microscópico las reacciones de oxidación y de reducción tienen lugar al azar sobre la superficie metálica. Algunos ejemplos familiares son la herrumbre del acero, del hierro y el deslustrado de la vajilla de plata.

Esta es probablemente la forma más común de corrosión y también la menos molesta ya que se puede calcular la vida útil de material. Además es relativamente fácil de controlar mediante recubrimientos protectores, inhibidores y protección catódica.

2.3.2.2 Corrosión no uniforme

La corrosión no uniforme se produce cuando las áreas anódicas (de oxidación) y las catódicas (de reducción) están separadas unas de otras dando lugar a la pérdida de metal áreas restringidas o localizadas. Dicha corrosión puede ocurrir tanto a escala microscópica como macroscópica.

Por lo tanto, la corrosión no uniforme se subdivide en otros tipos corrosión como por ejemplo; la corrosión galvánica, la corrosión en grietas, la corrosión por picaduras y la corrosión intergranular.

2.3.2.3 Corrosión galvánica o bimetálica

Esta corrosión se presenta al unirse eléctricamente dos metales, dos fases o dos aleaciones diferentes, cuando se encuentran en presencia de un electrolito y ambos presentan distinto potencial eléctrico.

Generan la aparición de un ánodo y un cátodo, donde el metal menos noble o el más activo experimenta corrosión (ánodo), frente al metal más noble (el cátodo) que queda protegido de la corrosión.

Podemos encontrar esta corrosión en estructuras de aluminio con tornillos de acero, como por ejemplo una barandilla sujeta con soportes de acero. Al estar en contacto dos metales de distinto potencial y al incidir la lluvia (el agua) que aportará el electrolito, se producirá un deterioro en el metal menos noble.

En caso de querer montar una estructura de un material con una sujeción de otro material diferente hay que aislarlos físicamente, es decir, si se quiere sujetar una estructura de aluminio y se utiliza unos pernos de acero, porque son más rígidos, se tendrá que poner una arandela lo suficientemente ancha para aislar el contacto metal-metal.

Se adjunta dos figuras para destacar el efecto de esta corrosión en una barandilla de aluminio.



Figura 3 y Figura 4. Soportes de refuerzo de distinto material respecto a la barandilla situada en la facultad Física y Matemáticas ULL. Fuente: Propia.

2.3.2.4 Corrosión en grietas

La corrosión en grietas es una forma de corrosión electroquímica localizada, debido a que la concentración de iones o de gases disueltos en la disolución electrolítica es diferente de la concentración que se da entre dos regiones de la misma pieza metálica. Así se forma una pila de concentración donde la reacción anódica (corrosión) ocurre sobre la zona de menor concentración.

Este tipo de corrosión tiene lugar en grietas y rendijas o debajo de depósitos de suciedad o de productos de corrosión, donde la disolución permanece estancada y existe un empobrecimiento localizado del oxígeno disuelto.

Una vez consumido el oxígeno dentro de la rendija, ocurre la oxidación del metal en esta posición. Los electrones procedentes de esta reacción electroquímica se desplazan a través del metal hasta la región externa vecina, donde intervienen en una reducción, esta zona donde tiene lugar la reducción se denomina cátodo. Por otro lado, la zona interior de la rendija es donde tiene lugar la oxidación y se denomina ánodo (figura 5).

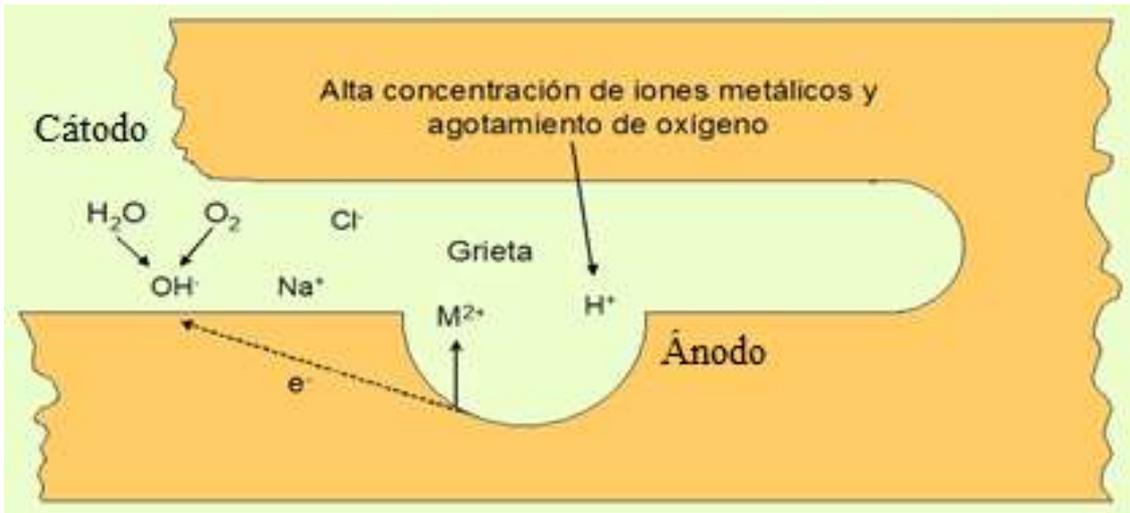


Figura 5. Diagrama esquemático del mecanismo de corrosión por grietas. Fuente: William F. Smith.

La corrosión grietas suele aparecer bajo las juntas, remaches y pernos, entre discos y asientos de válvulas, bajo depósitos porosos.

2.3.2.5 Corrosión por picaduras

Las picaduras son una forma de ataque corrosivo localizado que produce agujeros o pequeños hoyos en un metal. Esta forma de corrosión crece perpendicularmente a la superficie hacia el interior de la pieza pudiendo perforar el metal llegando a ser muy destructiva.

El mecanismo de la corrosión por picadura es parecido al de la corrosión en grietas porque la corrosión transcurre dentro de la picadura, con la reducción complementaria en la superficie. Se supone que la gravedad es la causante del crecimiento hacia debajo de la picadura, la disolución se concentra dentro de la picadura a medida de que ésta progresa hacia abajo.

En consecuencia, las picaduras, debido a su naturaleza localizada, pueden con frecuencia producir fallas repentinas e inesperadas y pueden iniciarse sobre un defecto o una pequeña grieta superficial.



Figura 6. Jarrón bajo los efectos de la corrosión por picaduras. Fuente: <http://www.corrosion-doctors.org/7>

En la figura 6, adjuntamos un ejemplo de corrosión por picaduras. Este tipo de corrosión es la principal fuente de fugas en los sistemas de manejo de aguas.

2.3.2.6 Corrosión intergranular

La corrosión intergranular es un ataque corrosivo localizado en y/o adyacente a las fronteras de grano de una aleación. En condiciones comunes si un metal se corroe de manera uniforme, las fronteras de grano sólo serán un poco más reactivas que la matriz. Sin embargo, en otras condiciones, las regiones de la frontera de grano pueden ser muy reactivas, y causar corrosión intergranular que provoca la pérdida de resistencia de la aleación inclusive la desintegración en las fronteras de grano. Este fenómeno se suele producir en aceros inoxidable.

La causa se debe al calentamiento del acero inoxidable a temperaturas comprendidas entre los 500 y los 800°C durante periodos de tiempo largos. Este tratamiento térmico permite la formación de pequeñas partículas de precipitados de carburo de cromo, por reacción entre el cromo y el carbono en el acero inoxidable. Estas partículas se forman a lo largo de los límites del grano. El cromo y el carbono difunden hacia los límites de grano para

formar los precipitados y dejan regiones vecinas al límite de grano empobrecidas en cromo, es decir regiones altamente susceptibles de corroerse.

2.3.2.7 Corrosión activada por acción mecánica:

Engloba los tipos de corrosión que se describen a continuación:

Corrosión por erosión

La corrosión por erosión puede definirse como la aceleración en la velocidad del ataque corrosivo a un metal debido al movimiento relativo de un fluido y de la superficie metálica.

Cuando el movimiento relativo del fluido es rápido, los efectos del desgaste y la abrasión mecánicos pueden ser severos. La corrosión por erosión se caracteriza por la aparición en la superficie metálica de huecos, valles, picaduras, hoyos redondeados y otras configuraciones de daño de la superficie metálica que suele ocurrir en la dirección del flujo del fluido corrosivo.

Este tipo de corrosión suele presentarse en el interior de tuberías que poseen cambios bruscos de sección, álabes de turbinas, válvulas, así como en codos y ángulos de tuberías.



Figura 7. Corrosión por erosión. Fuente: <http://www.pairodocspro.com/>

Corrosión por cavitación.

La corrosión por cavitación se define como el ataque destructivo de un metal, producido por la combinación de la acción del ataque químico y la abrasión mecánica o desgaste como consecuencia del movimiento de un fluido en régimen turbulento.

La naturaleza del fluido influye decisivamente en el comportamiento corrosivo. Normalmente un aumento en la velocidad de corrosión. Además, una disolución incrementa el carácter erosivo si contiene burbujas o partículas sólidas en suspensión.

Este tipo de corrosión se identifica por la aparición en la superficie metálica de surcos y ondas con contornos característicos de la corriente del fluido

Este tipo de corrosión aparece con frecuencia en las caras posteriores de las hélices de los barcos o en los impulsores de las bombas. Los cálculos indican que el rápido colapso de las burbujas de vapor puede producir presiones localizadas tan altas como 60000 psi (libras-fuerzas por pulgadas cuadradas) o lo que es lo mismo 413,7 Pa (Pascal). Con repetidos colapsos de las burbujas de vapor es posible producir considerables daños a la superficie metálica.



Figura 8. Corrosión por cavitación. Fuente: <http://blog.utp.edu.com/>

Corrosión bajo tensión.

Las grietas debidas a la corrosión por esfuerzo de los metales se refieren a las grietas provocadas por un ambiente de corrosión específico que actúa sobre el metal y por los efectos combinados de esfuerzos por tensión que en general es inferior a su resistencia mecánica.

Durante la formación de las grietas debidas a la corrosión por esfuerzos (figura 8) la superficie del metal suele ser atacada muy poco mientras las grietas localizadas se propagan a través de la sección metálica.



Figura 9. Corrosión bajo tensiones. Fuente: <http://www.cedinox.es/>

2.3.2.8 Corrosión por fricción o fretting

Ocurre en interfaces entre materiales bajo carga expuestos a vibración y deslizamiento. En el caso de la corrosión por fricción, los fragmentos metálicos entre las superficies en frotamiento se oxidan y algunas películas de óxido se desprenden por la acción de fricción. En consecuencia, hay una acumulación de partícula de óxido que actúa como un abrasivo entre las superficies en frotamiento.

La corrosión por fricción (figura 9) ocurre comúnmente entre superficies en contacto rígido tales como las que se encuentran entre ejes y cojinetes o camisas.



Figura 10. Corrosión por fricción. Fuente: <http://blog.utp.edu.co/>

2.3.2.9 Corrosión - fatiga

En la corrosión a fatiga, se producen grietas que crecen desde la superficie hacia el interior. Originadas por la interacción combinada de reacciones electroquímicas y una tensión cíclica.

Estas grietas tienen lugar principalmente en la zona de afloración de las dislocaciones, donde se produce instantáneamente la rotura de la película pasividad y por tanto del ataque localizado.

La propagación de la grieta puede ocurrir por ataque anódico continuo a la grieta o por ciclos alternos de ataque anódico lento y fractura mecánica rápida.

En la figura 10, se muestra un ejemplo de corrosión por fatiga.



Figura 11. Corrosión por fatiga. Fuente: <http://endalloy.net/>

2.3.3 Hechos históricos

El problema de la corrosión es de gran importancia y supone para los países que tratan de combatirla un porcentaje significativo del producto nacional bruto, ya sea disminuyendo el nivel de energía libre de un sistema, colocando un recubrimiento que evite el contacto con el reactante o aplicando una fuerza impulsora en oposición para reducir la velocidad del proceso.

La corrosión química es de especial consideración en muchos sectores incluyendo transportes (puentes, aviones, trenes, tuberías, automóviles y barcos), servicios públicos (energía eléctrica, agua, telecomunicaciones y plantas de energía nuclear), así como la producción y manufactura (industria alimentaria, microelectrónica y refinerías de petróleo).

La corrosión no sólo debe ser vigilada, sino que también debe ser tomada en consideración en el diseño de cada uno de los diferentes componentes.

A lo largo de la historia se han suscitado grandes accidentes industriales, sociales o ecológicos generados por elementos mecánicos y/o estructurales atacados por la corrosión. A continuación se mostrarán una serie de ejemplos:

Diseño de una cámara de niebla salina...

La explosión en las alcantarillas, México:

Uno de los ejemplos más significativos por los daños originados a consecuencia de la corrosión fue la explosión de las alcantarillas, acontecida en la ciudad de Guadalajara, México.

La causa de la tragedia se origina a partir, de unos tubos de agua nuevos hechos de cobre revestidos de zinc, los cuales fueron instalados cerca de una tubería de acero perteneciente a una empresa mejicana distribuidora de petróleo (Premex). La humedad de la tierra hizo que los metales tuvieran una reacción electrofítica, ocasionando la corrosión de la línea de conducción de gasolina, creando un agujero que provocó que la gasolina se fugase al subsuelo causando filtraciones en las alcantarillas.

A pesar de la principal causa, había otro motivo que incrementaría las probabilidades de que se produjese un accidente. El alcantarillado se construyó en forma de “U” por motivos de infraestructura en vez de “en cuesta” para con la fuerza de la gravedad mover la basura acumulada con facilidad. Además para que el diseño en forma de “U” funcionara se colocó un sifón invertido de modo que los líquidos pudieran empujarse contra la gravedad. Aun así el diseño estaba mal hecho, ya que mientras los líquidos eran bombeados con éxito, los gases no y los gases de gasolina se acumularon hasta que una simple chispa desencadenó la explosión.

En este suceso la explosión destruyó 15 kilómetros de calles, hubo entre 500 a 700 personas fallecidas, casi 800 heridos y 15000 personas se quedaron sin hogar.



Figura 12. Daños causados en el barrio céntrico de Guadalajara, 22 de abril de 1992. Fuente: <http://mexico.cnn.com/>

Accidente de la aeronave de ALOHA AIRLINE:

La aeronave perdió el techo del avión, tras escucharse un gemido grave seguido de una explosión. Dejando al descubierto las 5 primeras filas.

Existen varias causas que desencadenaron el accidente, entre las cuales destacan que el avión era un modelo viejo con unos 90000 vuelos realizados, el hecho de operar en un medio cercano al mar produjo ciertos signos de corrosión en la aeronave, lo cual influyó en un fenómeno conocido como fatiga del metal.

Dicha aeronave hacía el mismo vuelo de trayecto corto numerosas veces, por lo que constantemente realizaba despegues y aterrizajes originando una expansión y una contracción en el fuselaje gracias a la presurización. Dicha presurización constante unida a la corrosión originada por el medio hizo que los remaches de los paneles del fuselaje se fueran agrietando poco a poco hasta provocar el accidente.

A partir de ese accidente se utilizaron instrumentos especiales para detectar esta condición peligrosa: Debido a este accidente se crearon programas de seguridad con bases rigurosas

de manera que permita minimizar ese problema. También muchas industrias comenzaron a invertir en investigación I+D con el fin de minimizar los riesgos y evitar accidentes.



Figura 13. Foto del lado izquierdo del vuelo 243 de Aloha Airlines accidentado el 29 de abril de 1988.
Fuente: <https://elsecretodelospajaros.files.wordpress.com>

Pérdida de aeronaves F.16 de la UNITED STATES AIR FORCE:

Este ejemplo ilustra un caso que está creando problemas recientemente en la flota de las aeronaves F.16 de la USAF. El grafito es usado comúnmente como lubricante sólido por su fácil disponibilidad en la industria del acero. La alternativa es una formulación que contiene disulfuro de molibdeno la cual es mucho más cara. Desafortunadamente el grafito causa la corrosión galvánica en dos metales diferentes.

En una flota de más de 3000 aeronaves F.16 USAF de motor sencillo, el grafito fue usado por un contratista a pesar de una orden general que prohíbe su uso en aeronaves, el lubricante fue extruido hacia una parte de la aeronave donde el control de la línea de combustible de la válvula de cierre fue realizada por conectores eléctricos hechos de una combinación de oro, estaño, y pasadores de acero. En muchos casos la corrosión ocurre entre estos metales causando la pérdida de control de la válvula, ya que cierra el paso de combustible al motor en pleno vuelo.

Al menos 7 aeronaves se cree que fueron pérdidas por este motivo, además de otros accidentes y mantenimiento adicional. No obstante, no se dispone de más información porque se trata de un vehículo militar.



Figura 14. F16 de la USAF estrellado por fallas en el motor. Fuente: Wikipedia.com

2.3.4 Impacto económico de la corrosión

La corrosión ha adquirido un papel realmente importante en el ámbito económico a nivel mundial, ya que este fenómeno es la principal causa que afecta a la mayor parte de los materiales naturales o fabricados por el hombre, llegando a destruirlos de forma definitiva. Un dato alarmante y que nos hace conocer más la importancia que tiene paliar la corrosión, es que el 25% de la producción de acero es destruida anualmente por la corrosión.

Los ingenieros son en la mayoría de los casos los responsables de minimizar los costos y los riesgos de la corrosión en muchos ámbitos: aviones, plantas generadoras de energía (térmica, nuclear, hidroeléctrica, eólica), plantas de manufactura, de procesos químicos, estructuras de concreto. Sin embargo muchas veces ignoran las causas posibles de la corrosión y su forma de prevenirla. [9]

Existen dos clases de pérdidas desde el punto de vista económico:

- **DIRECTAS:** las pérdidas directas son las que afectan de manera inmediata cuando se produce el ataque. Estas se pueden clasificar en varios tipos, de las cuales las más importantes son el coste de las reparaciones, las sustituciones de los equipos deteriorados y costes por medidas preventivas.
- **INDIRECTAS:** se consideran todas las derivadas de los fallos debidos a los ataques de corrosión. Las principales son la detención de la producción debida a las fallas y las responsabilidades por posibles accidentes.

En general, los costes producidos por la corrosión oscilan cerca del 5% del PIB (*Producto interior bruto*, conjunto de los bienes y servicios producidos en un país durante un espacio de tiempo, generalmente un año) de los países industrializados. Este porcentaje del PIB se suele destinar para prevenir la corrosión y para mantener o reemplazar los productos afectados por las reacciones de corrosión.[9]

Muchos de estos gastos podrían evitarse con un mayor y mejor uso de los conocimientos y técnicas que hoy en día están disponibles.

En España, las pérdidas por corrosión alcanzan entre un 3 y un 4 % del PNB (*Producto nacional bruto*, conjunto de los bienes y servicios generados por los factores productivos de un país durante un espacio de tiempo, generalmente un año, en el propio país o fuera de él) lo que supone, sólo en costes directos, unos 16.000 millones de euros. Cuanto mayor es el nivel tecnológico de un país, mayores son sus pérdidas previstas, ya que aumentan las instalaciones y procesos tecnológicos, la agresividad de las atmósferas... [9]

2.3.5. Protección contra la corrosión

El fenómeno de la corrosión se puede tratar de evitar atendiendo a las siguientes medidas industriales para combatir dicha reacción química:

Selección del material:

Es necesario seleccionar el material de acuerdo al ambiente corrosivo caracterizado. Esta medida de prevención genera un coste adicional significativo. No siempre se podrá utilizar el material que ofrezca una óptima resistencia a la corrosión por motivos económicos, por lo tanto a veces se deben usar otros materiales y/o aplicar otras medidas de protección. Cabe destacar que no existen materiales absolutamente inoxidables, pero

se pueden utilizar materiales tales como aceros inoxidable, aluminios, cerámicas, FRP (materiales poliméricos reforzados con fibras) o polímeros (plásticos), los cuales responden bien ante la corrosión.

Disminución de la agresividad corrosiva del ambiente:

Modificando la agresividad del medio, se puede disminuir significativamente la corrosión.

Cuando se trabaja en ambiente cerrado (por ejemplo, un circuito cerrado de agua), se pueden dominar los parámetros que influyen en la corrosión. Sobre todo la composición química (particularmente la acidez), velocidad del fluido corrosivo, temperatura y presión reduciendo la velocidad de la corrosión. Además se puede agregar productos denominados "inhibidores de corrosión". Un inhibidor de corrosión es una sustancia que, añadida a un medio en bajas concentraciones, reduce de manera significativa la velocidad de corrosión. Las sustancias utilizadas dependen tanto del metal a proteger como del medio corrosivo. [9]

Por ejemplo, se suelen utilizar inhibidores en los sistemas de enfriamiento o disipadores de calor como los radiadores, calderas o torres de enfriamiento. También es común el uso de inhibidores de corrosión como los fosfatos o etanolaminas en los combustibles para proteger los sistemas de contención (como tuberías y tanques).

El diseño:

El diseño de las estructuras puede parecer de poca importancia, pero puede ser implementado para aislar las superficies del medio ambiente. Por ejemplo: si diseñamos una instalación donde el funcionamiento se interrumpe durante un periodo de tiempo prolongado, el diseño debe permitir un completo drenaje y fácil lavado. Además se debería facilitar la eliminación del aire ya que el oxígeno disuelto puede aumentar la corrosividad de muchas disoluciones.

Otros criterios a tener en cuenta es la acción penetrante de la corrosión cuando se considere el espesor del metal utilizado, así como evitar cambios bruscos de dirección y sección en el sistema de tuberías por donde circulan fluidos para no potenciar la corrosión por erosión.

Los recubrimientos protectores:

Para reducir la corrosión en un metal se aplican barreras físicas en forma de películas y recubrimientos superficiales, impidiendo la difusión de agentes agresivos que inicien la corrosión o la oxidación. El recubrimiento debe mantener un alto grado de adherencia, lo que indudablemente requiere algún pretratamiento de la superficie. Lógicamente los recubrimientos deben soportar el ambiente corrosivo y resistir el deterioro mecánico.

Un ejemplo de recubrimiento orgánico más utilizado es la pintura. Esta protege los metales de la corrosión atmosférica, la pintura se aplica de forma líquida y se endurecen hasta formar una película sólida y compacta. Se suelen utilizar pinturas ricas en cinc para proporcionar una protección catódica.

En cuanto a los recubrimientos inorgánicos se utilizan los vitrificados o esmaltes vítreos, que son recubrimientos duros, compactos y adyacentes al material, estos se emplean para proteger tuberías enterradas en el suelo corrosivo.

Las consecuencias de la corrosión pueden ser catastróficas no sólo en las estructuras metálicas, edificaciones, puentes, embarcaciones, aviones... sino en vidas humanas. Conocer y aplicar los conceptos básicos de corrosión en la selección de materiales, disminución de la agresividad corrosiva del ambiente, en el diseño y su cuidado o en los recubrimientos protectores, evita accidentes, alarga la vida útil del material y reduce los costes económicos entre otros. Por lo que resulta especialmente importante tener conocimientos acerca de las protecciones contra la corrosión y seguir avanzando en el desarrollo de otros métodos que minimicen los problemas que este fenómeno genera.

2.3.6. Ensayos de corrosión

Se define como ensayo de corrosión a la realización de experimentos de laboratorio que permitan simular ambientes corrosivos extremos, para realizar un análisis del comportamiento de los metales. La finalidad del ensayo es establecer estimaciones que permitan determinar la resistencia de los materiales bajo dichas condiciones y así poder hacer una selección preliminar de los mejores materiales en estudio para una determinada aplicación.

Los ensayos de corrosión pueden ser de dos tipos:

- Pruebas de campo: Se disponen de un método de medición.

Testigos de corrosión, están fabricados con el mismo material de la estructura o con otro material. Los testigos se limpian y pesan antes y después de introducirlos en la corriente de flujo corrosivo durante un periodo de tiempo. Una vez finalizado el ataque se determina el cambio de peso que el material experimenta con el fin de obtener la velocidad de corrosión, solo en los casos en los que la corrosión es uniforme.

- Estudio de laboratorio:

Un estudio de laboratorio es el ensayo por métodos electroquímicos, en estos ensayos es preciso medir las fuerzas electromotrices de las pilas y los potenciales de cada electrodo o de cada fase por separado, si hay más de una. Los ensayos comunes de este tipo son los de medida de la polarización lineal y los de medida de los potenciales de disolución.

El ensayo de polarización lineal, consiste en la fabricación de una célula electrolítica, donde se medirá el potencial respecto del electrodo de referencia, para seguidamente obtener las curvas de polarización cuando se presenta en escalas semilogarítmicas. Teniendo en cuenta que existe una aparente linealidad en el origen de la curva de polarización. Sabemos que la pendiente de la curva lineal es inversamente proporcional a la velocidad de corrosión, condición clave para poder obtener este último parámetro.

El ensayo más frecuente estudiado en laboratorio es el ensayo de niebla salina. Que consiste en introducir en una cámara cerrada, con una nube de vapor de agua y una temperatura determinada el metal a inspeccionar, para nebulizarlo con solución salina.

Para realizar un ensayo de corrosión de forma más rápida. Hay que reproducir el proceso corrosivo real con tiempos de exposición netamente inferiores a los que sería necesario en el lugar y en condiciones de servicio. Para lograr disminuir el tiempo se necesita modificar estratégicamente ciertos factores tales como las concentraciones del ambiente corrosivo, la temperatura y la humedad.

Velocidad de corrosión

Un valor importante dentro de un ensayo de corrosión es la velocidad de corrosión. El método utilizado tradicionalmente para calcular la velocidad de corrosión, es el de medida de la pérdida de peso. Como su nombre indica, este método consiste en determinar la

pérdida de peso que ha experimentado un determinado metal o aleación en contacto con un medio corrosivo.

Se puede expresar como la velocidad de penetración de la corrosión (VPC) La fórmula para este cálculo es

$$VPC = \frac{K \cdot W}{\rho \cdot A \cdot t}$$

Donde W es la masa perdida después del tiempo de exposición t; ρ y A representan la densidad y el área de la muestra respectivamente, y K es una constante cuya magnitud depende del sistema de unidades utilizado. La VPC se expresa en milímetros por año (mm/a) o milésimas de pulgadas por año (mpa) En el primer caso, $K=87,6$ y W, ρ , A y t se expresan en miligramos, gramos por centímetro cúbico, centímetros cuadrados y horas. En el segundo caso, $K = 534$ y las unidades de los otros parámetros son los mismos que para milímetros por año, excepto A que se expresa en pulgadas cuadradas. Para la mayoría de las aplicaciones se acepta una velocidad de penetración de la corrosión inferior a 0,50 mm/a (20 mpa).

Como existe una corriente eléctrica asociada con las reacciones de corrosión electroquímicas, se puede expresar la velocidad de corrosión en función de la densidad de corriente o, más específicamente, de la densidad de corriente: es decir, de la corriente por unidad de superficie de material corroído. La densidad de corriente se designa con la letra i. La velocidad r en mol/m²·s se determina utilizando la siguiente expresión:

$$r = \frac{i}{n \cdot F}$$

Donde n es el número de electrones asociados con la ionización de cada átomo metálico y F es la constante de Faraday igual a 96500 C/mol.

Ensayos acelerados de corrosión

El ensayo acelerado de corrosión consiste en simular el comportamiento de un material frente a la corrosión trasladando las condiciones de una atmosfera exterior al laboratorio.

Una de las maneras en la que se realizan los ensayos acelerados, es justamente introduciendo los metales a estudiar en un ambiente cerrado que denominamos cámara de niebla.

Podemos realizar un estudio del comportamiento de la pieza más rápidamente que si la estuviéramos analizando en condiciones naturales, ya que es un sistema cerrado y se pueden escoger perfectamente las condiciones (temperatura, concentración, caudal,...) en función del ensayo. Este tipo de ensayos tiene gran importancia y son muy utilizados para el desarrollo de recubrimientos metálicos, pinturas o tratamientos y pretratamientos aplicados a metales recubiertos.

El ensayo consiste en exponer una pieza metálica con su respectivo recubrimiento, a una niebla salina durante un cierto periodo de tiempo en el interior de la cámara de niebla, bajo condiciones controladas. El tiempo transcurrido desde que se introdujo la pieza hasta que comienza el ataque de la corrosión, proporciona una medida de la capacidad de resistencia del metal constituyente o del recubrimiento a dicho ataque.

2.3.7 Cámara de niebla

Es un dispositivo cerrado en donde se colocarán unas muestras de ensayo metálicas, a partir de la cámara de niebla se podrá controlar y acelerar el ensayo modificando las condiciones que tendrán lugar en su interior como la temperatura, humedad, caudal de pulverización, concentración del ambiente corrosivo...

Las cámaras de niebla cobran cada vez más importancia, debido a que con ellas se estudian las posibles mejoras que pueda tener un material frente a un ambiente corrosivo, es por esto que los fabricantes de piezas para automóvil, barco, ferrocarril, así como las industrias relacionadas con pinturas, barnices o cualquier otro tipo de tratamiento o pretratamiento a los metales incluyen dentro de sus protocolos de calidad la realización de ensayos de niebla salina, con el fin de mejorar sus productos.

Actualmente existen dispositivos muy sofisticados, como el que observamos en la (figura 14), equipados con un panel de control para facilitar la programación y mostrar gráficas de los perfiles de temperatura y humedad. Entre muchas de sus características posee un cierre y apertura neumático de la puerta del depósito principal, para poder introducir las muestras además de tener una visión interior del ensayo.

Diseño de una cámara de niebla salina...



Figura 15. Ejemplo de una cámara de niebla salina en mercado. Fuente: Directindustry.com

2.4 Alcance

Este proyecto tiene como finalidad diseñar una cámara de niebla salina que permita realizar y analizar los ensayos de corrosión acelerados en metales, orientado al ámbito didáctico en el área de Ciencia de los Materiales de la Universidad de La Laguna.

En el periodo de formación de un ingeniero industrial, el estudio y la comprensión de la ciencia de los materiales cobra un valor fundamental en dicha formación, ya que dota al ingeniero de las herramientas necesarias para la comprensión del comportamiento de cualquier material, la cual es necesaria para el diseño de componentes fiables y eficientes.

Para ello, se diseña un prototipo de cámara de niebla capaz de mostrar de manera clara y precisa el comportamiento de un material determinado ante un ataque corrosivo, para su posterior estudio y análisis de las muestras de ensayo.

La finalidad del proyecto es fabricar la cámara de niebla diseñada para poder realizar los ensayos de corrosión durante las prácticas. Esto se llevará a cabo si el profesorado acepta como viable el proyecto que aquí se presenta.

De esta manera se consigue un mejor aprendizaje de los alumnos que cursen la asignatura de Materiales, más concretamente el tema de corrosión, poniendo en práctica los conceptos estudiados en clase atendiendo a la evolución del ensayo corrosivo.

2.4 Scope

This project aims to design a fog saline chamber, that allows to realize and analyse the accelerated corrosion test in metals, it is oriented to the didactic field in the area of Materials Science at the University of La Laguna.

In the formation period of an industrial engineer, the studying and the understanding of the material science has a fundamental value in this formation, because it provides the engineer with the learning tools necessary to understand the behavior of any material, which is necessary to design reliable and efficient components.

For that, it is designed a prototype of fog chamber able to show simply the behavior of a particular material in present corrosive attack, for later studies and analysis of the sample test.

The aim of the project is to make the design of the fog chamber to perform corrosion tests during the practice. This will be made if the faculty accept as viable this project.

That's how we get the best learning for the students who are studying the materials subject, also putting in practice the concepts studied in class taking into account the evolution of corrosion test.

2.5 Antecedentes

El Área de Materiales precisa de un sistema versátil orientado a la investigación y docencia, en donde se puedan hacer los ensayos acelerados de corrosión. Además será indispensable que sea un diseño poco voluminoso y con al menos una de las paredes transparente.

Durante algún tiempo se ha tenido una cámara de niebla salina en préstamo por el Laboratorio de Calidad de la Edificación de la Viceconsejería de Infraestructura y Vivienda del Gobierno de Canarias.

Dicha cámara presenta un estado de falla por grietas, éstas posiblemente hayan sido originadas a causa de la inestabilidad del diseño y a la mala colocación de los apoyos que conforman el soporte inferior.

Otro problema que se origina a la hora de accionar el compresor, es una vibración excesiva en la cámara, debida nuevamente a la distribución de los apoyos. Nuestro diseño intentara evitar los defectos que previamente hemos visto en la cámara en préstamo.

A continuación añadimos una imagen (figura 15) donde se puede apreciar las grietas originadas por la mala distribución del peso.

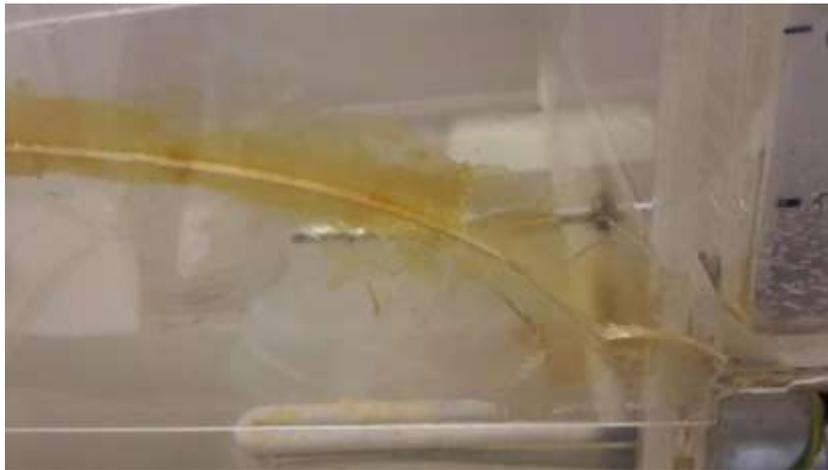


Figura 16. Grieta central de la cámara de niebla salina. Fuente: Propia

2.6 Normas y referencias

2.6.1 Disposiciones legales y normas aplicadas

- [1] Norma ASTM B-117 (1997) “*Salt Spray And Immersion Corrosion*”
- [2] Norma UNE- EN ISO 9227:2012. “*Ensayos de corrosión en atmósferas artificiales. Ensayos de niebla salina*”

2.6.2 Bibliografía

Libros

- [3] Willian D. Callister, Jr. “Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los materiales”. Editorial: Reverte. S.A.
- [4] Enrique Otero Huerta. “*Corrosión y degradación de materiales*” (Ciencias químicas. Química básica). Editorial: Síntesis, Madrid; 1º Edición (2001).
- [5] Donald R. Askeland. “*Ciencia e Ingeniería de los materiales*”. Editorial: International Thomson; 3º Edición (2004).
- [6] William F. Smith & Javad Hashemi. “*Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*”. Editorial: McGraw Hill; 5º Edición (2014).
- [7] Anexo del proyecto. “*Diseño de un péndulo tipo charpy para calcular la resistencia al impacto de los materiales*”. Cristian Antonio Urquina Mazo; Septiembre de 2014.

Páginas webs (URL.)

- [8] Temario de la asignatura Oficina Técnica correspondiente al 2º cuatrimestre del cuarto curso del Grado en Ingeniería mecánica. Recuperado en Junio de 2015:

Disponible en URL:

<https://campusvirtual.ull.es/1415/course/view.php?id=8943>

- [9] Tema 9 (Corrosión) del temario de la asignatura Ingeniería de Materiales correspondiente al 2º cuatrimestre del tercer curso del Grado en Ingeniería mecánica. Recuperado en Junio de 2015:

Disponible en URL:

<https://campusvirtual.ull.es/1415/course/view.php?id=8934>

- [10] Tema corrosión y degradación de los materiales
Disponible en la URL:

<http://www.uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m210031/Tema%2022.pdf>

- [11] Universidad nacional de La Plata, Facultad de ingeniería. (La corrosión: Un problema económico y de seguridad). Recuperado el 26 de Junio de 2015. Disponible en la URL:

<http://www.ing.unlp.edu.ar/quimica/corrosion.htm>

- [12] NACE (National Association of Corrosion Engineers.), *Estudio federal en 2002 realizado por la NACE sobre el costo de la corrosión en los Estados Unidos*. Recuperado el 27 de Junio de 2015.

Disponible en la URL:

<http://www.nace.org/Publications/Cost-of-Corrosion-Study/>

- [13] Conceptos de velocidad de corrosión. Recuperado el 22 de Junio de 2015. Disponible en la URL :

http://es.slideshare.net/sevilla_carlos2004/ensayos-de-corrosion?related=1

- [14] Método de evaluación de la velocidad de corrosión. Recuperado el 22 de Junio de 2015.

Disponible en la URL:

- [15] Protección contra la corrosión. Recuperado el 26 de Junio del 2015.

Disponible en la URL:

<http://www.monografias.com/trabajos82/corrosion-materiales/corrosion-materiales2.shtml#ixzz3eAxwd8On>

- [16] Catálogo de compresores de Leroy Merlin. Recuperado el 2 de Julio de 2015.

Disponible en la URL:

http://www.leroymerlin.es/productos/herramientas/maquinaria_de_taller/compresores_de_aire.html

- [17] Productos Grupo Alava Ingenieros. Recuperado el 30 de Junio de 2015.

Disponible en la URL:

<http://www.alava-ing.es/>

- [18] Termostato y resistencia. Recuperado el 14 de Junio de 2015.

Disponible en la URL:

<http://www.areashop.com.ar/>

- [19] Proyecto: Diseño de una cámara de niebla salina. Universidad de el Salvador. Recuperado el 20 de Junio de 2015.

Disponible en la URL:

http://ri.ues.edu.sv/1792/1/Dise%C3%B1o_y_construcci%C3%B3n_de_una_c%C3%A1mara_de_niebla_salina_para_ensayos_de_corrosi%C3%B3n.pdf

2.6.3 Programas de Cálculo

Solidwork 2013

2.7 Definiciones y abreviaturas

- Tasa de penetración de la corrosión; mph :

Pérdida de espesor de material por unidad de tiempo como resultado de la corrosión, por lo general se expresa en términos milímetros por año.

- Masa del material perdido; W :

Es la masa, medida en gramos, del material antes de ser sometido al ensayo menos la masa del material después de ser sometido al ensayo de corrosión.

- Densidad del material; ρ :

Es la relación entre la masa y el volumen de la muestra que se expone al ensayo. Se mide en gramos entre milímetros cúbicos.

- Área de exposición de la muestra; A :

Diseño de una cámara de niebla salina...

Es el área, medida en milímetros cuadrados, de la muestra que está expuesta al ensayo corrosivo, es decir al rocío de la lluvia.

- Tiempo de exposición; t:

Periodo de tiempo, expresado generalmente en horas, de una muestra bajo las condiciones corrosivas del ensayo.

-Metacrilato, PMMA:

El metacrilato es un polímero termoplástico que se utiliza actualmente en la industria por sus propiedades y diferentes aplicaciones.

2.8 Requisitos de diseño

A la hora de realizar un diseño, es importante ajustarse a una serie de requisitos marcados por la norma correspondiente. Los requisitos más importantes para realizar el diseño de la cámara de niebla son los siguientes.

Dentro de este apartado podemos diferenciar entre requisitos generales y requisitos de ensayo;

Requisitos generales:

1. El material de la cámara de niebla debe presentar gran resistencia a la corrosión y permitir ver lo que sucede en el interior de la cámara, al menos una de las paredes de diseño debe de ser transparente. También se precisa de un material que mantenga una buena conservación del calor en el interior de la cámara, es decir, con bajos índices de conductividad térmica. Existen varios materiales que cumplen con las características que se nombran, y que son imprescindibles para alcanzar el objetivo de adaptarlo a un ámbito didáctico y obtener una durabilidad de la cámara de niebla.

Atendiendo a estas características, se muestra en la siguiente tabla las ventajas, desventajas y el coste de los materiales que barajamos en la fase de la elección del material. Entre ellos destacan el vidrio y los vidrios plásticos tales como el polietileno cristal, el poliéster y el PMMA (metacrilato)

Tabla 1. Comparativa de materiales

MATERIAL	CARACTERISTICAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Vidrio	Densidad 2500 Kg/m ³ Dureza 470 HK Conductividad térmica 0.8 W/m·k Coste 95 €/m ²	-Transparente -Rígido	-Frágil - coste elevado -Pesado -Transferencia de calor alta
Polietileno cristal	Densidad 850 Kg/m ³ Dureza 40 HK Conductividad térmica 0.4 W/m·k Coste 19,48 €/m ²	-Transparente -Ligero -Buen precio	-Quebradizo ante un golpe.
Poliéster	Densidad 1200 Kg/m ³ Dureza 40 HK Conductividad térmica 0.4 W/m·k Coste 30 €/m ²	-Transparente -Ligero -Mecanizado simple -Buen precio	-Carga electroestática alta, ensuciamiento. -Sensible a los procesos termodinámicos.
Metacrilato (PMMA)	Densidad 1180 Kg/m ³ Dureza 185 HK Conductividad térmica 0.2 W/m·k Coste 80 €/m ²	-El más transparente de los plásticos -Ligero -Alta resistencia al impacto. -Mejor conservación del calor. -Rígido -Buen aislante	-Se comercializa en planchas. -Coste elevado

2. La cámara de niebla debe ser poco aparatosa, fácil de manipular y ligera.
3. Se busca un diseño económico, con montaje y mecanismo sencillo. Sin dispositivos electrónicos.
4. Los apoyos de la cámara de niebla tienen que ser estables y estar bien distribuidos.
5. La cámara de niebla debe de ser hermética, como indica la norma correspondiente.
[2]
6. La boquilla atomizadora se debe situar de tal forma que provoque una lluvia uniforme en toda la cámara.
7. Al menos una de las paredes del diseño debe ser transparente, dedicada a la docencia.

8. Las tareas de mantenimiento deberán realizarse de forma sencilla.

Requisitos de ensayo: [2]

1. La lluvia debe cubrir las muestras uniformemente.
2. El flujo de aire comprimido para nebulizar la solución salina deberá estar libre de aceite y suciedad. Además deberá ser mantenida entre 10 psi y 25 psi (69 Kpa/m² y 172 Kpa/m²), para provocar una niebla uniforme.
3. Se debe disponer de un colector que permita medir el caudal de lluvia en el interior de la cámara.
4. Las muestras no deben hacer contacto entre sí o con algún otro material metálico.
5. A menos que se especifique lo contrario, las probetas tendrán una disposición entre 25° y 35° de la vertical, es decir, que la muestra debe formar un ángulo de 65° o 75° con la base donde se apoya.
6. El agua en la base de la cámara debe cubrir la resistencia térmica completamente.

ANALISIS DE SOLUCIONES

A continuación se establece una serie de diseños elaborados en función de los requisitos enunciados anteriormente se han ido descartando.

Primero se diseña una cámara de niebla de forma cilíndrica (figura 16) con el depósito de solución salina anexo y la tapa en forma de cúpula. Con la forma cilíndrica se pretende favorecer la uniformidad de la lluvia en el interior de la cámara, sobre todo por la forma de la cúpula que tapa la parte superior del depósito principal. Además, resulta cómoda para colocar y quitar las muestras.

Este diseño fue descartado ya que la geometría del diseño representa una dificultad añadida a la fabricación para los materiales propuestos y supondría una mayor inversión del presupuesto. Además la tapa en forma de cúpula también era difícil de fabricar.

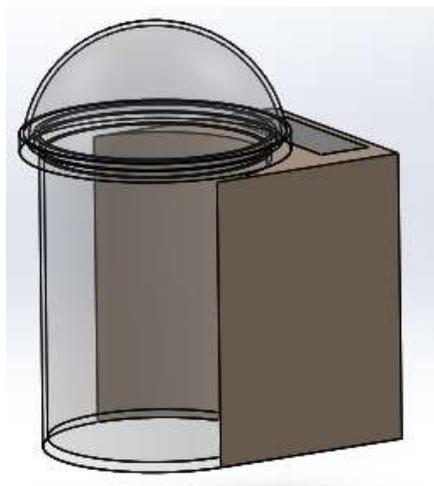


Figura 17. Primer diseño. Cámara cilíndrica

El segundo diseño fue una cámara rectangular con una tapa inclinada (figura 17). En este diseño se piensa en añadir marcadores eléctricos que nos permitieran regular los parámetros de temperatura y regulación de caudal automáticamente. Además, se incluye una tapa inclinada con una ventana que permita ver lo que sucede en el interior.

El diseño queda finalmente descartado por razones de uniformidad de la lluvia en el interior de la cámara, ya que la inclinación de la tapa podría estorbar a la propia lluvia impidiendo que caiga uniformemente sobre las probetas. Además el mecanismo de apertura de la tapa inclinada incluía unas bisagras y brazos mecánicos de acero, por tanto, no es un mecanismo apropiado bajo los efectos de la corrosión. Dicho mecanismo, supone un aumento del presupuesto final con respecto a una tapa.

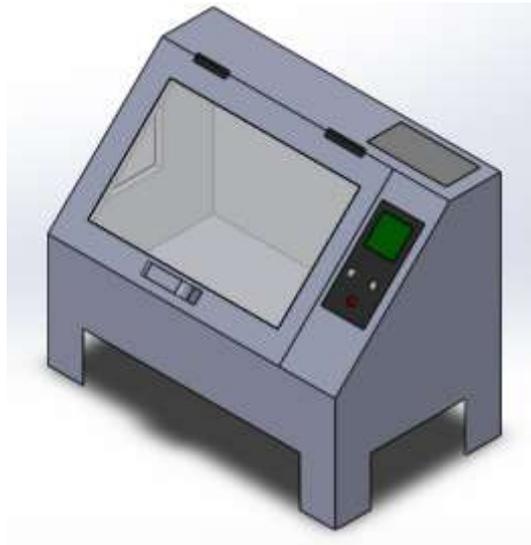


Figura 18. Segundo diseño. Cámara de tapa inclinada

A continuación, se realiza un tercer diseño con una cámara rectangular con una tapa a dos aguas y con el depósito de solución salina anexo a la cámara (figura 18). El diseño presenta 4 apoyos en forma de patas, en la base de la cámara. Las patas están situadas cada una en una esquina del rectángulo y en cruz para distribuir la carga uniformemente. Ésta cámara posee una puerta con doble hoja.

El diseño queda descartado porque el sistema eléctrico que se debería instalar supone una mayor inversión en el presupuesto con respecto a un sistema manual, con el que se puede conseguir la misma función de una forma más barata y más cómoda. Todo esto aumentaba el presupuesto final hasta en un 30%, bajo estimaciones. Igualmente la puerta no era lo suficientemente amplia para introducir y sacar las muestras de la cámara. Por último, se puede añadir que el diseño de la cubierta a dos aguas no garantiza una lluvia uniforme de la forma en la que se debería colocar la boquilla atomizadora.

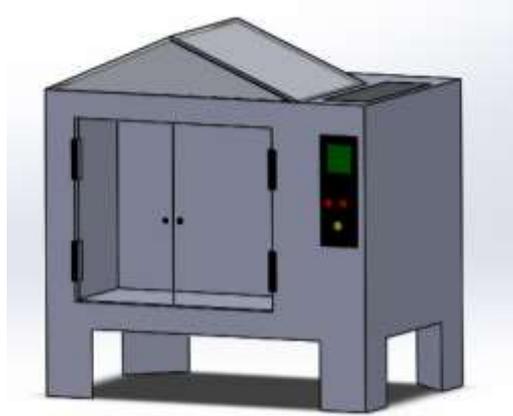


Figura 19. Tercer diseño. Cámara de cubierta a dos aguas

Partiendo del diseño anterior nos centramos en mejorar la distribución de pesos que debería soportar la cámara de niebla. Para ello, separamos el depósito de solución salina de la cámara principal donde se iba a realizar el ensayo disminuyendo el peso de la misma, ya que ambas tendrían sus respectivos soportes.

Los soportes han sido diseñados por separado, están formados por una plancha con un reborde para que ambos elementos queden encajados con una pequeña holgura, así como cuatro patas gruesas y macizas en las esquinas. Cabe destacar que el soporte del depósito de solución salina le hemos añadido unas patas largas para garantizar el efecto sifón.

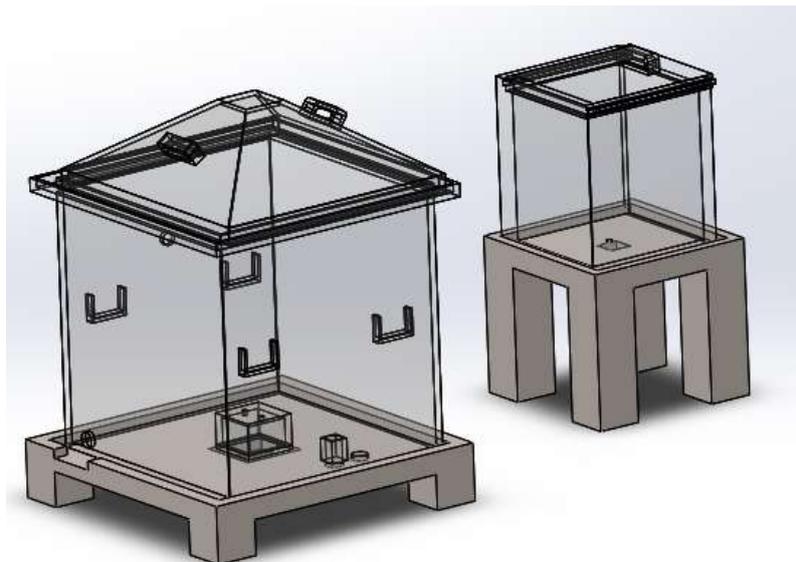


Figura 20. Cuarto diseño .Cámaras separadas

Asimismo, la cubierta se diseña a 4 aguas para mejorar su rigidez y estanqueidad con la ranura de apoyo, esto favorece la uniformidad de la lluvia en el interior de la cámara de niebla salina debido a su simetría con respecto a la colocación de las muestras.

Adjuntamos el cuarto diseño, el cual ha sido el diseño final y sobre el que hemos trabajado.

2.8.1 Elementos de la Cámara de niebla.

A continuación se enumeran los elementos principales que componen la cámara, añadiendo una breve descripción de su funcionamiento.

Tabla 2. Elementos de la cámara de niebla. Fuente: Propia

Marca	Denominación
M.1	Cámara de niebla. Depósito principal
M.2	Soporte de la cámara
M.3	Termostato de regulación
M.4	Resistencia de calefacción
M.5	Termómetro de vigilancia
M.6	Depósito de la solución salina. Auxiliar
M.7	Soporte del depósito de solución salina
M.8	Tubo de aspersión.
M.9	Cubierta de la cámara principal (4 aguas)
M.10	Tapa depósito solución salina
M.11	Válvula de paso

M.12	Porta Probetas
M.13	Tapón del sumidero
M.14	Pluviómetro
M.15	Boquilla atomizadora
M.16	Compresor

La cámara de niebla salina para ensayos de corrosión, está compuesta por los elementos que se aprecian en la tabla 2.

El primer elemento es la cámara de niebla como depósito principal (M.1). En este espacio se llevará a cabo el ensayo de las muestras para estudiar su comportamiento ante la corrosión.

Sobre las paredes de la cámara se ha diseñado unos soportes, donde se colocan las dos porta-probetas (M.12). En el interior de la cámara, más concretamente en la base donde se encuentra el sumidero colocaremos un tapón (M.13) de material anticorrosivo, el cual nos permitirá vaciar por completo la cámara de niebla al finalizar el ensayo.

Nuestra cámara contiene otro sumidero con un nivel de altura superior a la resistencia en el interior de la cámara para dejar siempre un volumen mínimo de agua destilada durante el ensayo.

En el centro de la base se dispone la boquilla atomizadora (M.15), a la cual se le conectan una manguera que irá conectada al compresor (M.16) y otra manguera que se conecta con el depósito de solución salina (M.6) que llega a la boquilla por medio de un sifón. El caudal podemos regularlo, mediante una válvula de paso (M.11).

En el interior de la cámara se debe colocar un pluviómetro (colector) para medir el condensado (M.14) como establece la norma. Además dispone de una resistencia de calefacción (M.4) para calentar el agua destilada que se encuentra en la base. La resistencia se podrá variar con el termostato (M.3) en función de la temperatura que vaya detectando el mismo.

Se instala además un termómetro de vigilancia (M.5) para saber la temperatura que tiene el ambiente que rodea a la muestra de ensayo durante el proceso de ensayo. Además se dispone un tubo envolviendo la boquilla pulverizadora para corregir y humidificar las aspersiones (M.8).

Como se describió en el último diseño, la cámara se cierra con una tapa diseñada a 4 aguas (M.10) mientras que el depósito de solución salina dispone de una tapa corredera (M.9). También se han diseñado dos soportes, uno con 4 patas para la cámara principal de niebla (M.2) y otro para el depósito de solución salina con unas patas de longitud suficiente para conseguir el efecto sifón entre la salida de la solución del depósito y la entrada de la boquilla atomizadora (M.7)

2.8.1.1 Cámara de niebla. Depósito principal

Es el elemento en donde se crea la película corrosiva, se ha diseñado de PMMA, descartando el vidrio por su peso (alta densidad) y su coste con respecto a los demás materiales. Entre los vidrios plásticos aunque el material más caro es el PMMA es el que mejores características tiene para el diseño de la cámara de niebla. El PMMA se caracteriza por tener una gran resistencia al aire salino, además presenta una mejor transparencia que el polietileno cristal y el poliéster. Es ligero y rígido al igual que el polietileno cristal y el poliéster pero no presenta las desventajas de estos.

Sus dimensiones son Largo=580 mm, Ancho=565mm, H=600mm. El largo de 580 mm es la medida mínima necesaria para que se puedan introducir 12 muestras con el porta-probetas sin que estorben entre ellas, la altura de 600 mm es la necesaria para que la pulverización no choque directamente con la cubierta.

Con estas dimensiones se pretende tener el suficiente espacio para introducir los elementos que van dentro de la cámara así como las 24 muestras que puede llegar a contener. Además se precisa de un diseño de dimensiones no muy extensas para que pueda ser fácil de transportar, además de que puede aumentar el presupuesto final del proyecto, ya que se necesitaría más material.

Las paredes tienen un espesor de 10 mm y la parte superior contiene una ranura que se rellena de agua, para que al colocar la tapa, actúe como goma para evitar la pérdida de

presión dentro de la cámara y la fuga del vapor de agua y solución salina pulverizada, es decir, que la cámara de niebla sea hermética. Con este espesor, aumentado respecto a la cámara de niebla que se encuentra ahora en el laboratorio, se pretende conseguir un diseño con mayor rigidez en sus paredes para evitar la falla por grietas.

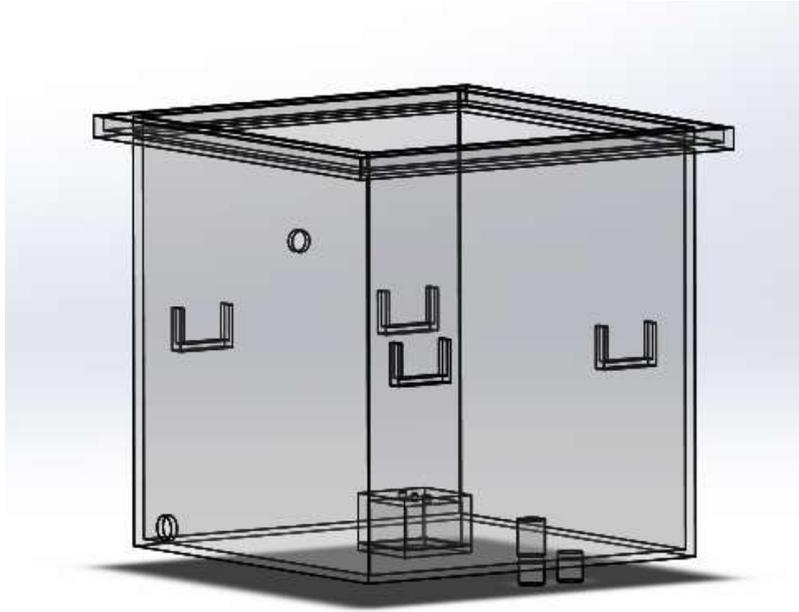


Figura 21. Cámara de niebla salina, depósito principal. Fuente: Propia

2.8.1.2 Soporte de la cámara

Se ha diseñado un soporte en forma de base para mejorar la distribución del peso de la cámara. El soporte está formado por una plancha de 5 cm de espesor en la base y cuatro patas macizas cuadradas de 10x10 cm, el material es acero inoxidable AISI 316 para evitar la corrosión en caso de que se produzcan fugas en los ensayos llegando a la base-soporte. El diseño se hace en función a la forma de la cámara de niebla salina. El espesor lo consideramos así una vez se comprueba que es válido para soportar el peso de la cámara mientras se realiza el ensayo (véase en los cálculos. ANEXO 3.2 Cálculo de Tensión del soporte de la cámara.)

Como se puede comprobar en la figura 21, en el centro de la plancha se puede ver un hueco por el que pasaran las mangueras que irán conectadas a la boquilla atomizadora. También se puede ver los dos orificios que los sumideros por donde se conectarán las mangueras a la cámara y un corte en el lateral en el borde para que se pueda colocar la resistencia-termostato en cualquier momento de la forma más cómoda posible.

Diseño de una cámara de niebla salina...

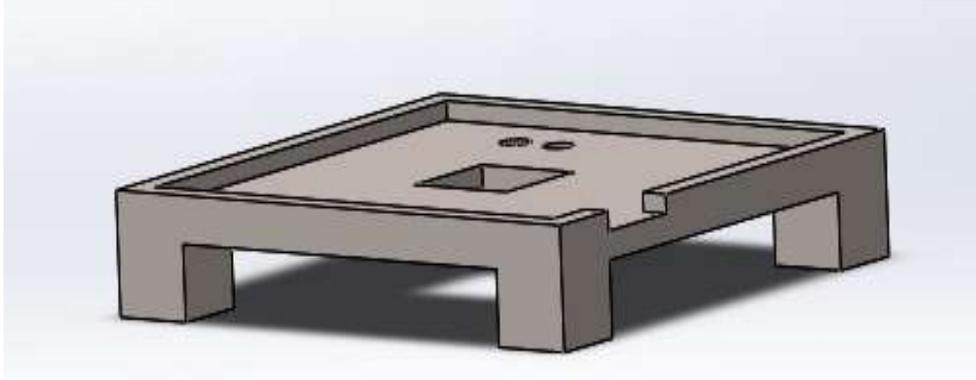


Figura 22. Soporte de la cámara. Fuente: Propia

2.8.1.3 Termostato de regulación

Es el elemento de la cámara que nos permite regular la temperatura. Con regulación de 20°C a 80°C (con incrementos de 5°C). Este elemento va conectado a la resistencia de calefacción, de manera que la resistencia transfiere calor en función de la temperatura que le marca el termostato. La caña del termostato está fabricada de acero inoxidable para no ser dañado en el ensayo y mide 30 cm de largo con un diámetro de rosca es de 35 mm.

Las características del elemento nos la proporciona Areashop.com y es elegido por cuestiones de coste.



Figura 23. Termostato. Fuente: Fondear.com

2.8.1.4 Resistencia de calefacción

Su principal función es calentar el agua destilada que se encuentra en la base de nuestra cámara hasta entrar en la fase de mezcla bifásica, para mantener el vapor de agua, indispensable para nuestro ensayo. Esta resistencia irá unida al termostato y el conjunto resistencia-termostato conectado a un regulador de temperatura, al cual se instala un cable

de alimentación para activar el dispositivo. Esta resistencia podrá calentar el agua entre el intervalos 20°C-80°C

La resistencia cuenta con una potencia de 1500W y un voltaje de 220V. La varilla calefactora mide 30 cm de largo y su diámetro de rosca es de 35 mm.

Las características del elemento nos la proporciona Areashop.com y es elegido por cuestiones de coste.



Figura 24. Resistencia de calefacción. Fuente: Fondear.com



Figura 25. Resistencia de calefacción y bulbo conectados. Fuente: Fondear.com



Figura 26. Subconjuntos y conjunto Resistencia-termostato. Fuente: Fondear.com

2.8.1.5 Termómetro de vigilancia

Con él valoraremos con exactitud la temperatura interior de la cámara durante el proceso. De manera que sabremos en todo momento a que temperatura se encuentra las muestras de ensayo.

El termómetro marca una temperatura entre los 0°C y los 100°C. El material del vástago que se encuentra en el interior de la cámara es de acero inoxidable y mide 100 mm de largo con un diámetro de 8mm. El diámetro de rosca con el que se mantiene unido a la cámara de niebla es de 30 mm con un paso de 3mm.

Las características del elemento nos la proporciona Areashop.com y es elegido por cuestiones de coste.



Figura 27. Termómetro de varilla. Fuente: Areashop.com

2.8.1.6 Depósito de solución salina. Auxiliar

La función del depósito de solución es contener la solución corrosiva en la que se genera la niebla y de su capacidad de almacenamiento depende el tiempo máximo que puede durar el ensayo sin requerir la preparación de más solución junto con el tamaño de la cámara de niebla. Por ello se ha diseñado del mismo material que la cámara principal (PMMA)

El volumen del depósito puede ser variable, o al menos no se especifica nada en concreto dentro de la norma correspondiente al ensayo. Luego se decide fabricar un depósito de solución de 26 Litros. Esto permite realizar ensayos de corrosión de mayor duración, además que no es necesario un depósito de más capacidad para el uso que se le quiere dar. Una relación que se tiene en cuenta a la hora de diseñar el depósito de solución es el

consumo de litros del depósito de solución salina por tiempo de operación durante el ensayo de corrosión.

Un estudio de un proyecto de un diseño de cámara de niebla de la universidad de El Salvador estima que un valor normal para una cámara de niebla del mercado actual puede necesitar un consumo 227 litros por cada 72 horas de operación. Por lo tanto, aplicando la regla de tres, para nuestro depósito de solución salina corresponderían 8 horas de trabajo. [19]

Como ya se explicó, el depósito se ha diseñado y colocado en el exterior con un soporte que permita al depósito estar una altura superior con respecto a la entrada de la solución al interior de la boquilla nebulizadora, para que la solución llegue a la boquilla por medio de un Sifón, evitando la colocación de una bomba que nos incrementa el presupuesto de nuestro diseño. Esta idea permite un manejo cómodo de la cámara así como una disminución de peso para la misma.

El depósito contará con una salida a la que estará unida una manguera que lleve la solución a la boquilla nebulizadora. Ésta manguera tendrá una válvula de paso con la que se puede variar el caudal de la solución.

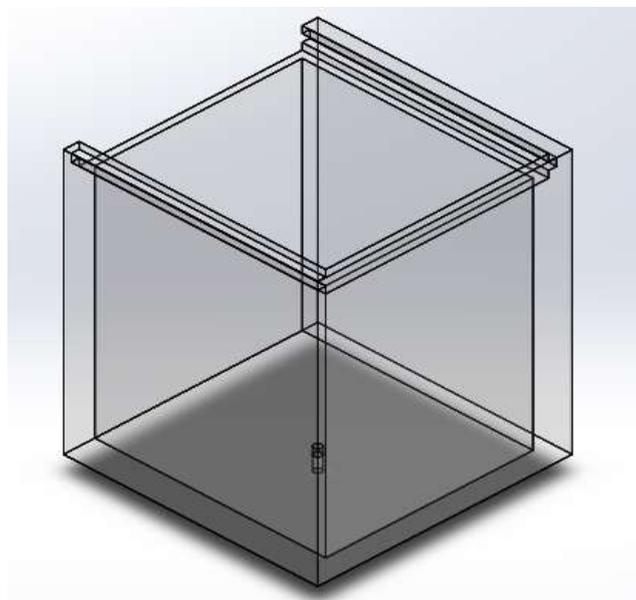


Figura 28. Depósito de solución salina. Fuente: Propia

2.8.1.7 Soporte del depósito de solución salina

Este soporte se encargará de sustentar el depósito de solución salina, se ha tenido en cuenta al determinar la longitud de las patas, la necesidad de tener la salida de la solución del depósito por encima del nivel de la entrada a la boquilla atomizadora, para aprovechar el efecto sifón, evitando así tener que incorporar una bomba.

El soporte está fabricado del mismo material que el soporte del depósito principal. Sus dimensiones son de 394x394x350 mm adaptándose a las dimensiones del depósito de solución.

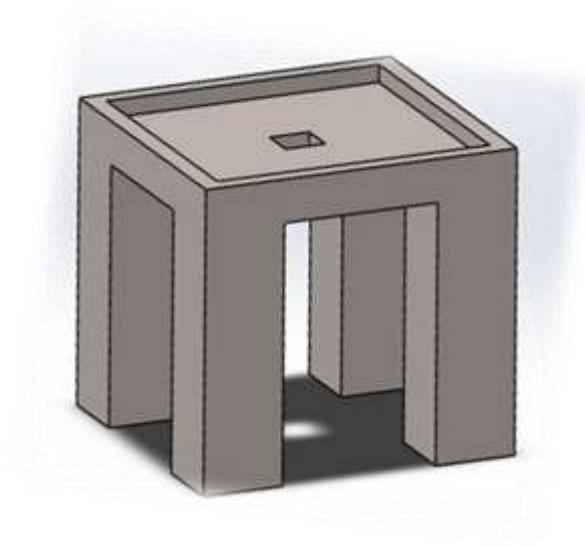


Figura 29. Soporte del depósito de solución salina. Fuente: Propia

2.8.1.8 Tubo de aspersión.

Consiste en un tubo de plástico (PMMA) en forma de cilindro, que proporciona una correcta distribución de la niebla en el interior de la cámara. El tubo de aspersión se encarga de darle dirección al flujo que sale de la boquilla atomizadora para llevarlo a lo más alto del interior de la cámara y se distribuya uniformemente. En la parte inferior del tubo se perforaron unos orificios que permiten la entrada de aire desde la parte inferior del mismo evitando el vacío que se produce cuando la boquilla está pulverizando la solución, también sirven para mejorar la distribución de la niebla en el interior de la cámara.

El tubo tiene una altura de 40 cm, con la que se pretende que las gotas de la pulverización no choquen directamente con las probetas, enviando la lluvia a una altura suficiente por encima de las mismas.



Figura 30. Tubo de aspersión. Fuente: Propia

2.8.1.9 Cubierta de la cámara principal (4 aguas)

Al igual que la cámara principal, la cubierta estará compuesta de PMMA. Se ha diseñado la tapa de la cámara principal de niebla a 4 aguas, con una inclinación de 34° con respecto a la horizontal y distribución simétrica para que la pulverización generada por la boquilla atomizadora al chocar en la superficie interior de la cubierta se proyecte uniformemente sobre las probetas.

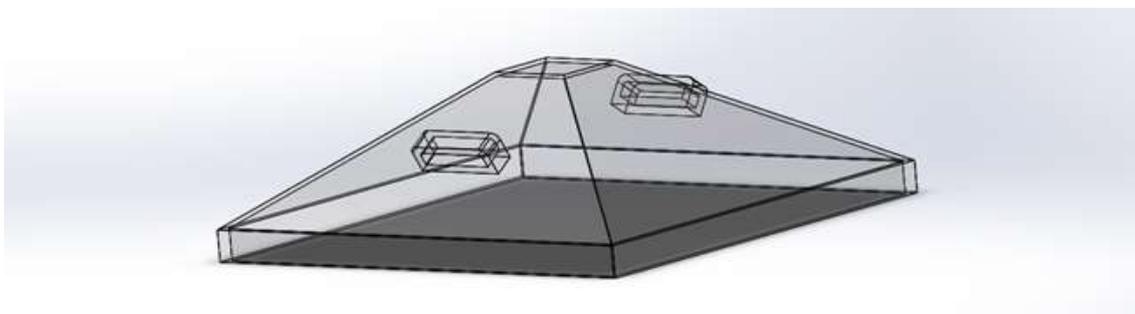


Figura 31. Cubierta de la cámara principal. Fuente: Propia

2.8.1.10 Tapa del depósito de solución salina

Se ha diseñado una tapa que se pueda montar y desmontar fácilmente, para ello hemos diseñado unas ranuras en el depósito de solución salina y así encajar la tapa deslizando a ésta por la ranura, con la ayuda de un asa.

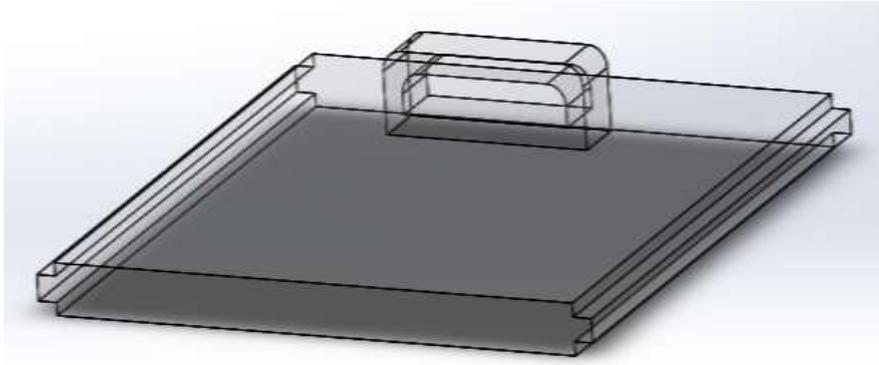


Figura 32. Tapa del depósito de solución salina. Fuente: Propia

2.8.1.11 Válvula de paso

Esta válvula cobra gran importancia ya que a partir de ella se puede controlar el suministro del caudal de la solución salina que se suministre a la boquilla nebulizadora para generar una mayor o menor pulverización de la solución.

La válvula irá conectada al tramo de la manguera que va desde el depósito de solución salina hasta la boquilla. Se puede conseguir en una tienda online de repuestos de fontanería, (Estanques.eu). El diámetro de la boquilla es de 10 mm mientras que el reborde es de 12 mm. Estas medidas se corresponden con la manguera que se comenta para favorecer la unión válvula-manguera.



Figura 33. Válvula de paso. Fuente: Estanques.eu

2.8.1.12 Porta-probetas

Los soportes porta-probetas se han diseñado según las especificaciones de la norma la cual dice que las muestras deben colocarse en la cámara de forma que no sean rociadas directamente por los pulverizadores de la niebla y con ángulos de inclinación respecto a la vertical de $(20 \pm 5^\circ)$. Además deben estar fabricadas de un material inerte no metálico, por lo que se han descrito para ser fabricadas en PMMA ya que no son afectadas por la niebla, son fáciles de limpiar y se utiliza el mismo material con el que se fabricará la cámara.

Los soporte porta-probetas tienen una capacidad para 12 muestras dispuestas en una orientación de 65° , 70° o 75° grados con respecto a la horizontal aprobados por la norma.

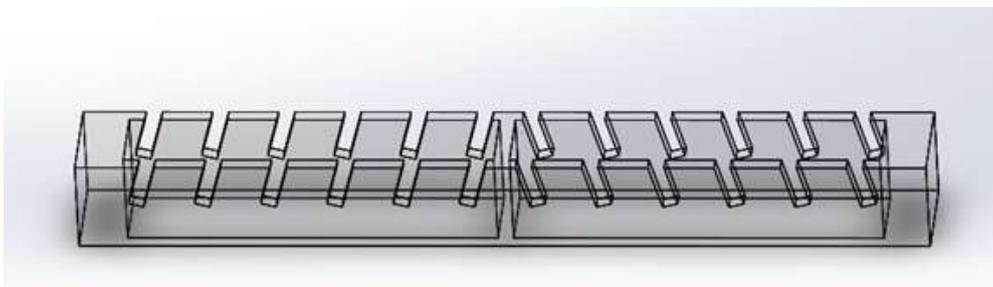


Figura 34. Porta-probeta. Ángulo: 65° . Fuente: Propia

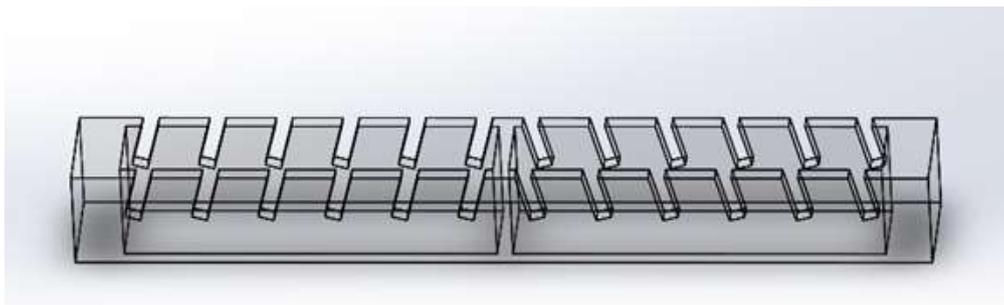


Figura 35. Porta-probeta. Ángulo: 70°. Fuente: Propia

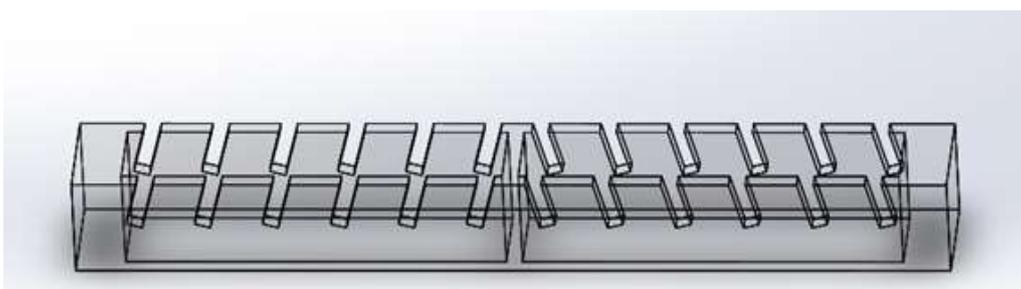


Figura 36. Porta-probeta. Ángulo: 75°. Fuente: Propia

2.8.1.13 Tapón del sumidero

Este tapón nos servirá para conservar el agua de la base de la cámara. Este tapon nos permitirá vaciar la cámara por completo para conseguir una limpieza exhaustiva de la misma. El diámetro del tapón es de 40 mm de diámetro por lo que se ajusta a las dimensiones del sumidero de la cámara. El tapón se puede obtener en Leroy merlín y está fabricado de PVC



Figura 37. Tapón del sumidero. Fuente: Catálogo de Leroy Merlín

2.8.1.14 Pluviómetro

Se trata de un pluviómetro de plástico el cual permite medir la precipitación durante el ensayo, se ha colocado en la base de la cámara cercana a una de las paredes, para no penalizar el desarrollo del ensayo.

Este pluviómetro cumple con la norma UNE- EN ISO 9227:2012, ya que cuenta con un diámetro de 10 cm lo que corresponde a un área de recuperación de 80 cm^2

Podemos conseguir este elemento en Leroy Merlín.



Figura 38. Pluviómetro. Embudo sobre probeta. Fuente: valkanik.com

2.8.1.15 Boquilla nebulizadora

Esta boquilla debe ser resistente a las soluciones más agresivas y debe permitir la pulverización de la solución salina en forma de lluvia fina. La boquilla posee un perno, es decir un tornillo de forma cilíndrica al que se le enrosca una tuerca, con la función de ejercer presión e inmovilizar la boquilla a la cámara.

La boquilla tendrá dos entradas: una de aire comprimido y otra de la solución de trabajo. En este dispositivo confluyen ambos flujos, con la mezcla realizada el flujo sale por la punta de la boquilla provocando la pulverización de las partículas de la solución a partir de la presión del aire comprimido.

Este pulverizador no soportará una presión superior a 2 bares, por tanto hay que asegurarse de que el regulador de presión que posee el propio compresor, esté correctamente regulado a la salida del compresor.

La boquilla nebulizadora contará con un accesorio que consiste en un adaptador que se une por medio de una rosca y servirá para conectar las mangueras.



Figura 39. Adaptador y Boquilla nebulizadora. Fuente: Álava ingenieros

2.8.1.16 Compresor

Equipo necesario para suministrar presión al aire, el cual irá conducido mediante una manguera hacia la boquilla. La función del flujo de aire es generar una pulverización mezclando el aire y la solución con presión.

El compresor elegido es el Compresor BW 2421 posee una potencia de 2CV, con una capacidad de 25 litros, caudal de 165 l/min, presión máxima de trabajo de 8 bares y peso de 25 kg. Viene lubricado con aceite para una mayor duración de la vida del compresor.

Por lo tanto el compresor se adapta a los requisitos implementados por la norma, ya que puede aportarnos una presión comprendida entre los 70 Kpa y los 170Kpa para los diferentes métodos de ensayo de corrosión

El compresor es elegido dentro del catálogo de compresores de Leroy Merlin. Dentro de las opciones que nos ofrece el catálogo, este compresor cubre las necesidades mínimas para llevar a cabo el ensayo y es elegido por cuestiones económicas y de comodidad al ser más pequeño y más manejable que el resto de compresores.



Figura 40. Compresor BW 2421. Fuente: LeroyMerlin.com

2.8.2 Ficha técnica de la cámara de niebla

A continuación se muestra una tabla con las características técnicas de la cámara, compresor y resistencia.

CÁMARA DE NIEBLA

Tabla 3. Ficha técnica cámara de niebla

Dimensiones de la cámara	580 x 565 x 590 cm
Tiempo de trabajo de la cámara	8 horas
Volumen del depósito de solución	26 Litros
Porta-probetas	3 ángulos: 65°,70°,75°.
Tipo de lluvia	Fuente vertical, caudal regulable.

COMPRESOR BW2421

Tabla 4. Ficha técnica compresor BW2421

Presión máx	8 bares
Capacidad del calderín	25 Litros
Caudal	165 L/min
Velocidad	2950 rpm
Peso	25 Kg
Auto lubricación	No

RESISTENCIA

Tabla 5. Ficha técnica resistencia calorífica.

Potencia	1500 W
Voltaje	220 V
Largo	30 cm
Diámetro rosca	35 mm

2.9 Conclusiones.

En este apartado expondremos los métodos empleados para evitar los problemas y errores posibles durante el periodo de vida de la cámara así como las mejoras que se pueden adoptar con respecto al diseño que se encuentra actualmente en el laboratorio.

Uno de los principales problemas encontrado en la cámara de niebla anteriormente usada en el Laboratorio fue la falla por grietas en el PMMA. La solución que se ha propuesto

para que esta incidencia no vuelva a suceder fue la de aumentar el espesor de las paredes de manera que soporte mejor las presiones internas que se crean dentro de la cámara. Así se ha pasado de 8 mm a un espesor de pared de 10mm.

Además hemos establecido un soporte formado por una plancha de acero inoxidable AISI 316 cuyo espesor es de 10 mm con un reborde para que la cámara no quede suelta, a este soporte le hemos colocado patas gruesas y macizas en cada esquina cuyas dimensiones son(100x100x80mm). De esta manera se consigue una mayor estabilidad de la cámara que se apoya en la plancha, con una mejor distribución de esfuerzos sobre las patas.

Otro de los problemas que presentaba la cámara era que no se podía vaciar fácilmente por completo el agua de la base. Para ello se ha añadido un orificio en la base de la cámara que se puede cerrar con un tapón, de modo que cuando se quiera vaciar por completo la cámara, se quita el tapón para que el agua salga por la manguera de desagüe.

El tapón está fabricado de PVC, el cual soporta perfectamente a corrosión.

El depósito de solución se diseña como un sistema externo a la cámara principal para disminuir el peso de la cámara de niebla salina, y así evitar la posible falla por grietas. De esta manera se puede disponer el depósito con total comodidad colocando el mismo donde sea más adecuado.

Asimismo se ha diseñado un soporte para dicho depósito auxiliar similar al de la cámara pero con las patas largas para favorecer el efecto sifón necesario para llevar a cabo el ensayo.

Se consigue una mayor versatilidad del diseño gracias a las distintas orientaciones de las que disponen las probetas de ensayo gracias a los tres porta-probetas de 65°, 70° y 75° diseñados para ello.

ULL

Universidad
de La Laguna

Escuela Superior de
Ingeniería y Tecnología

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y
TECNOLOGÍA**

ANEXO

**Diseño de una cámara de niebla
salina para ensayos de corrosión.**

Por

Adrián Lorenzo Padrón Padilla

Leandro Pérez Cedrés

La Laguna, MARZO DE 2016

3.1 Introducción

La mayoría de las fallas en las máquinas son consecuencias de cargas que varían con el tiempo (cargas dinámicas), pero este diseño estará sometido a cargas estáticas. Tales fallas ocurren normalmente a niveles de esfuerzos significativamente menores que las resistencias a la fluencia de los materiales. Por ello no utilizar las teorías de falla de cargas estáticas puede llevar a diseños inseguros cuando los haya. La consideración de fallas debidas a cargas estáticas, nos lleva al estudio y análisis de la fatiga que puede sufrir algunos de los elementos del diseño de la cámara. Los fallos por fatiga siempre empiezan en una grieta, la cual siempre está presente en todos los materiales ya sea por manufactura deficiente, por discontinuidades o por inclusiones que provocan una concentración de esfuerzos. Las dimensiones de una grieta pueden ir creciendo lentamente con los ciclos de funcionamiento del dispositivo, y finalmente puede provocar la fractura de la pieza. [7]

La mejor manera de realizar una estimación de la resistencia a fatiga de un elemento es realizar pruebas sobre piezas reales, sometiéndose a esfuerzos similares a los que sufrirán en la máquina. Si estas pruebas no resultan económicamente rentables, se recurre al cálculo de los esfuerzos a partir de un programa sofisticado para la simulación de cargas funcionales normales para comprobar la resistencia de los materiales, como hacemos en nuestro caso a partir de Solidwork.

Por lo tanto, en este documento se recogen los cálculos de los elementos que se consideran críticos, debido a que tienen que soportar una serie de sollicitaciones para así asegurar un diseño seguro y duradero de la cámara. [7]

Se realizarán capturas de pantalla para mostrar los resultados tanto gráficos como numéricos y se indicará cuáles son las dimensiones y propiedades de la pieza.

3.2 Cálculo de Tensión del soporte de la cámara.

Para calcular la tensión en el soporte haremos un cálculo de la fuerza que sufrirá el mismo en el peor de los casos, que es cuando la cámara se encuentre en medio del ensayo. Se simularán las tensiones en las piezas solidas que hemos modelizado con

el programa de Solidwork. Para ello es necesario calcular el peso de cada componente de la cámara, que será la que aplicaremos al soporte de la cámara para calcular la tensión normal máxima que puede soportar la misma.

También aplicaremos un control de mallado en las zonas donde sufre la máxima de las tensiones, para ver con más precisión este valor.

Para calcular la carga total que debe soportar el soporte utilizamos el propio programa Solidwork, que nos permite calcular el volumen total que ocuparía la estructura. Por tanto, conocida la densidad del material hallamos el peso de cada elemento.

Cálculo de la carga:

Tabla 6. Masa total que soporta el Depósito de la cámara principal.

Masa de la Cámara	45.25 kg
Masa de la Cubierta	12.01 kg
Masa de las Porta-probetas	1.9 kg
Masa del Resto de componentes	6.5 kg
Masa de agua depositada en la base	15.26 kg
Seguridad	10 kg
TOTAL	90.92 kg

Esto es una fuerza de: $F = 90.92 \text{ kg} \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 = 891.92 \text{ N}$

El resultado tras aplicar las fuerzas es el siguiente:

Tomando restricciones en la base de las patas del soporte y teniendo en cuenta de que el material de la pieza es acero inoxidable AISI 316. Aplicamos control de mallado.

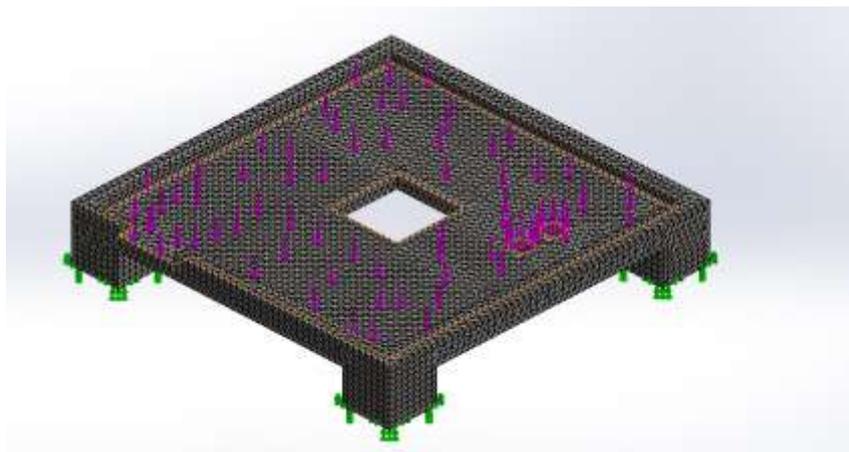


Figura 41. Gráfica de Tensión (Von Mises). Aplicando control de mallado

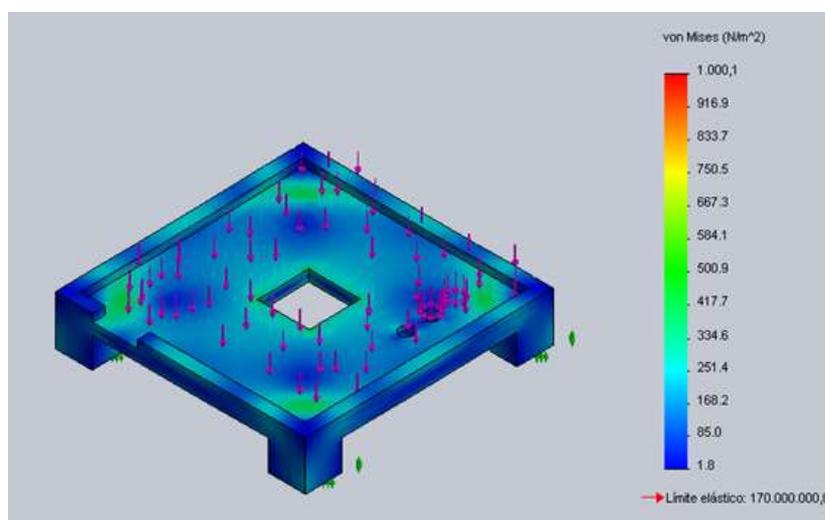


Figura 42 Cálculo de las tensiones en el soporte principal de la cámara de niebla

Como se puede comprobar, el material soporta sin ningún problema la carga de la cámara. El valor de tensión más grave lo sufre el vértice interior de las patas, pero como se puede comprobar es un valor que queda lejos del límite elástico del material. El diseño es válido.

3.3 Cálculo de Tensión en el soporte del depósito de solución salina.

Realizamos de la misma forma los cálculos de tensión en el soporte del depósito de solución salina. La fuerza que debe aguantar el soporte es el peso del líquido de la

solución salina, que en el peor de los casos es cuando hayan 26 Litros, más el propio peso del PMMA del depósito. La carga total que debe soportar es:

Tabla 7. Masa total que soporta el soporte del depósito de solución.

Masa del depósito	33.1 kg
Masa de la solución *tomando densidad estándar.	26 kg
TOTAL	59.1 kg

Esto es una fuerza de: $F = 59.1 \text{ kg} \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 = 579.771 \text{ N}$

Tomando restricciones deslizantes en el plano de las patas los resultados son los siguientes.

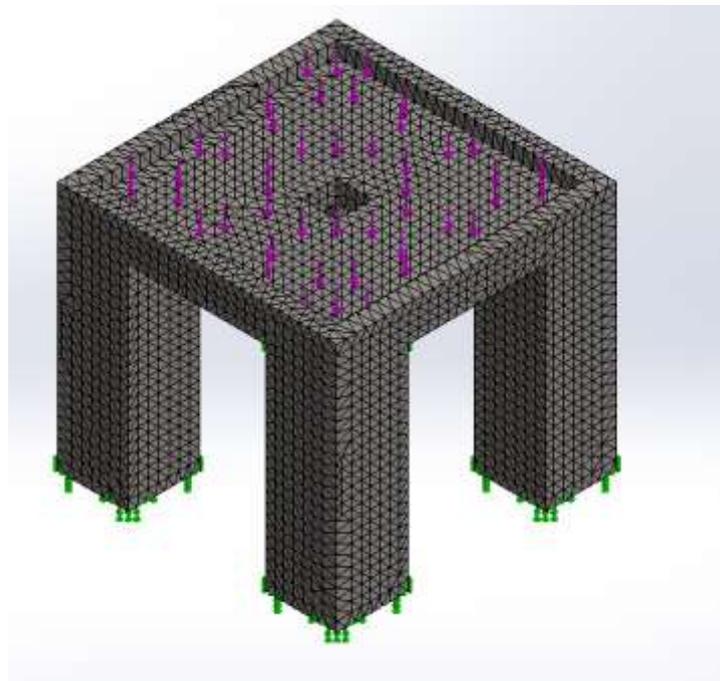


Figura 43. Gráfica de Tensión (Von Mises). Aplicando control de mallado

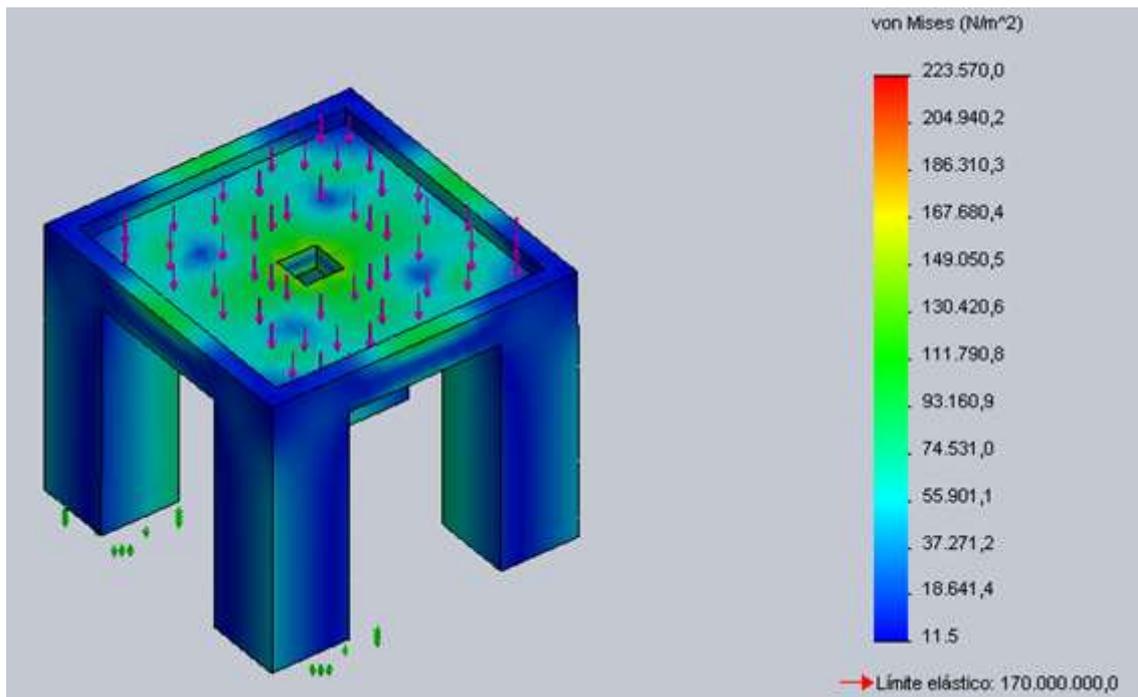


Figura 44. Cálculo de tensiones en el soporte del depósito de solución salina

Las mayores tensiones en este soporte están localizadas en el mismo sitio que en el soporte de la cámara (vértice interior de las patas). En este caso la tensión es mucho mayor pero es un valor lejos del límite elástico por lo que el diseño es válido.

ULL

Universidad
de La Laguna

Escuela Superior de
Ingeniería y Tecnología

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y
TECNOLOGÍA**

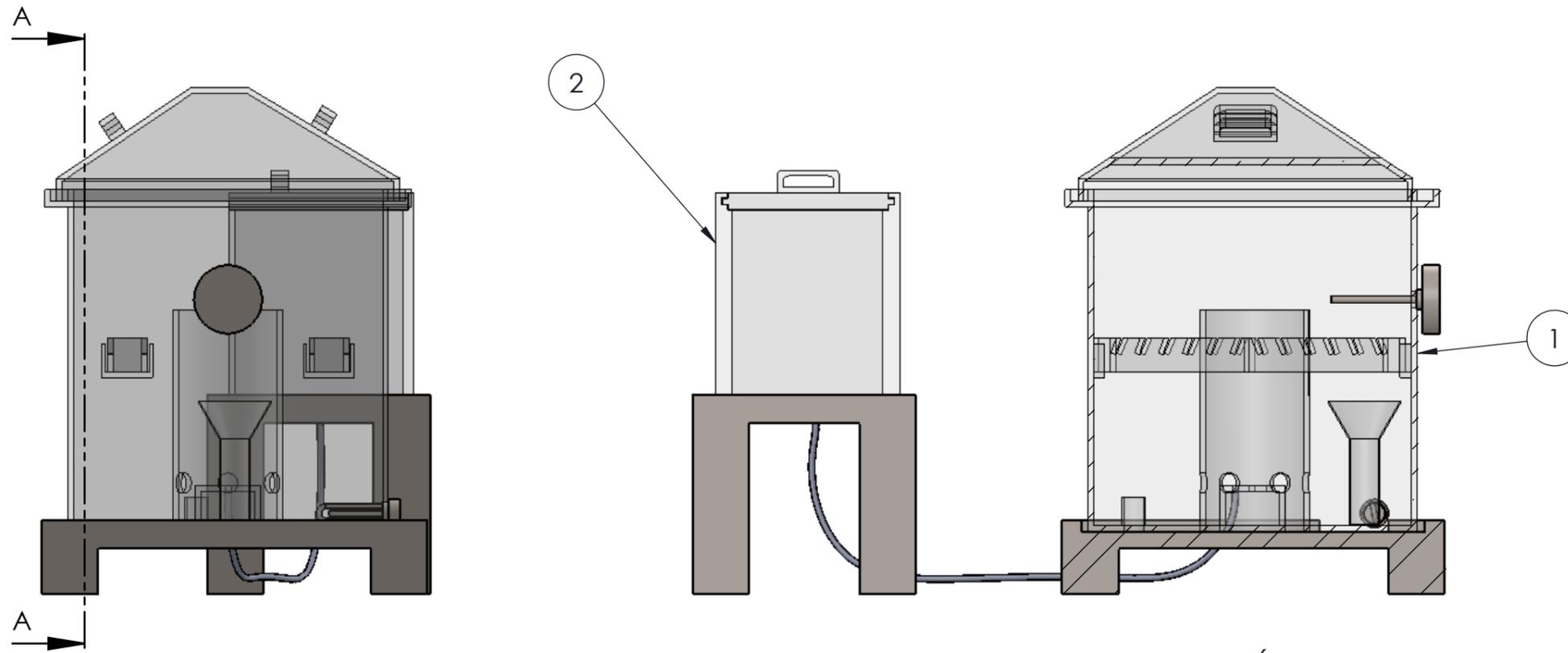
PLANOS

**Diseño de una cámara de niebla
salina para ensayos de corrosión.**

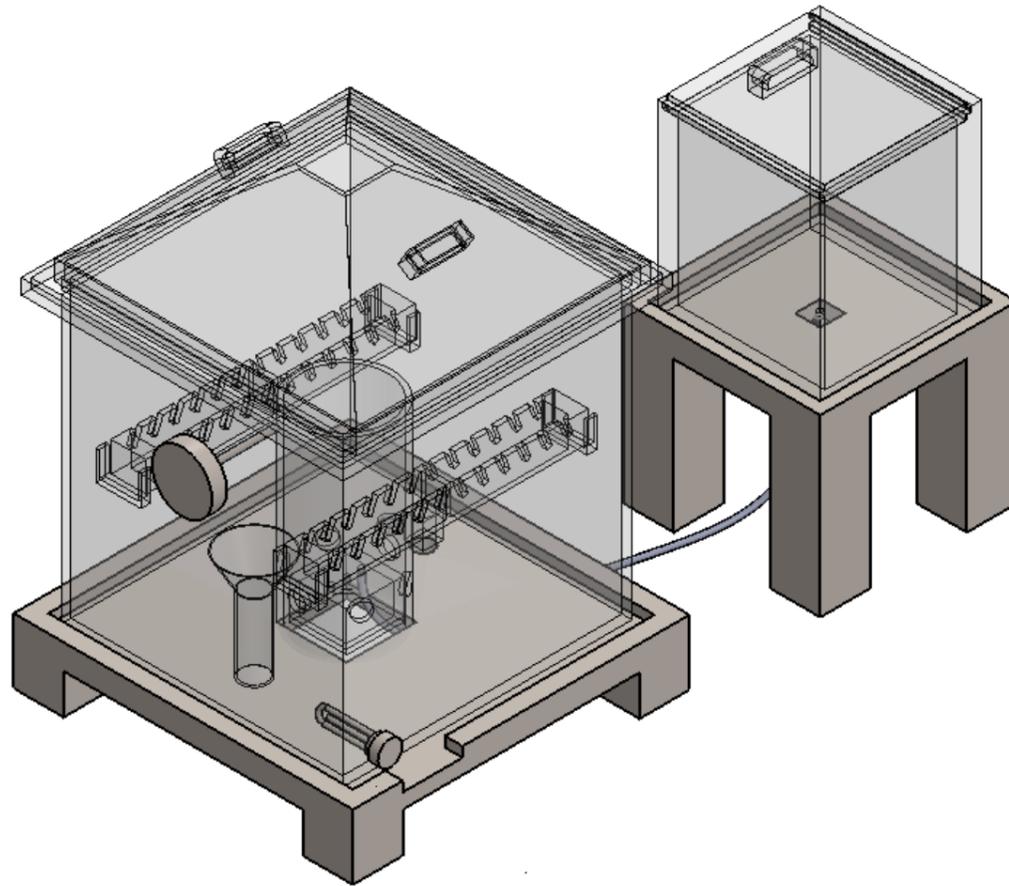
Por

**Adrián Lorenzo Padrón Padilla
Leandro Pérez Cedrés**

La Laguna, MARZO DE 2016



SECCIÓN A-A

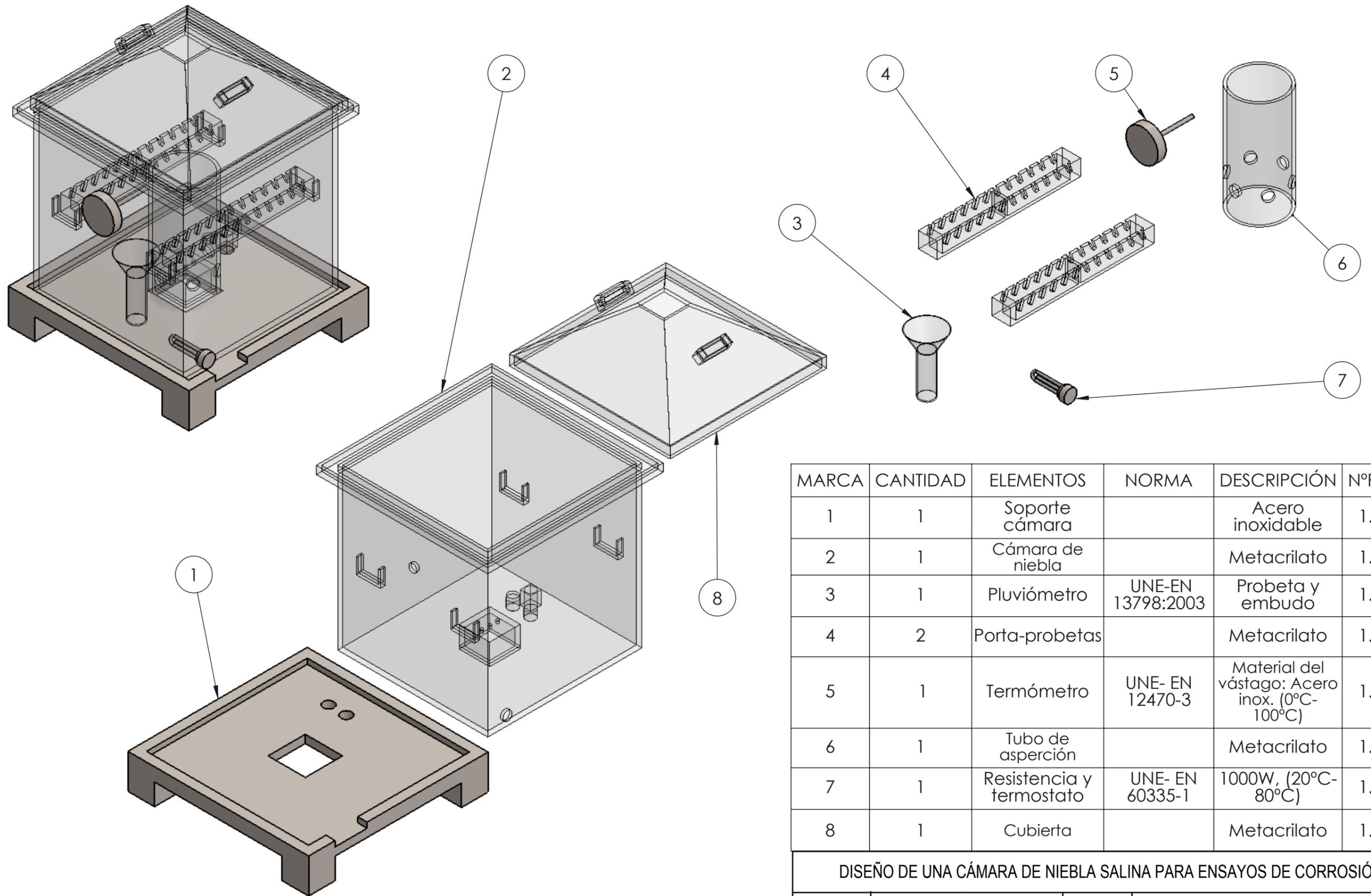


MARCA	CANTIDAD	ELEMENTO	NORMA	DESCRIPCIÓN	Nº PLANO
1	1	Subconjunto. Cámara principal		Metacrilato	1.01.00
2	1	Subconjunto. Depósito de solución salina		Metacrilato	1.02.00

DISEÑO DE UNA CÁMARA DE NIEBLA PARA ENSAYOS DE CORROSIÓN

Autores		 ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
Fecha	ADRIÁN LORENZO PADRÓN PADILLA		
MAR-2016	LEANDRO PEREZ CEDRÉS		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		
ESCALA:	PLANO DE CONJUNTO: CÁMARA DE NIEBLA SALINA		Nº P.: 1.00.00
1:10			Nom.Arch: planodeconjuntocámara.dwg

**Edición para educación de SolidWorks.
Sólo para uso educativo.**

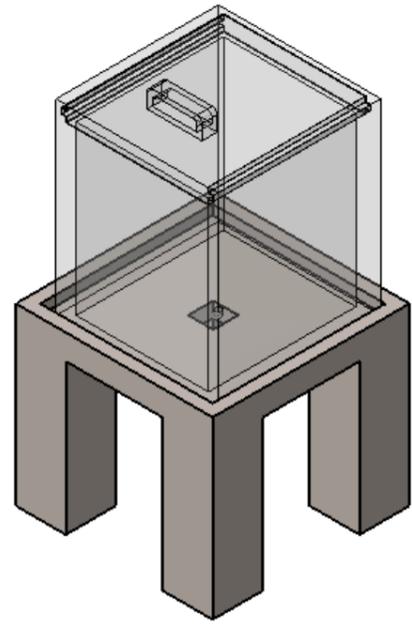


MARCA	CANTIDAD	ELEMENTOS	NORMA	DESCRIPCIÓN	NºPLANO
1	1	Soporte cámara		Acero inoxidable	1.01.01
2	1	Cámara de niebla		Metacrilato	1.01.02
3	1	Pluviómetro	UNE-EN 13798:2003	Probeta y embudo	1.01.03
4	2	Porta-probetas		Metacrilato	1.01.04
5	1	Termómetro	UNE- EN 12470-3	Material del vástago: Acero inox. (0°C-100°C)	1.01.05
6	1	Tubo de asperción		Metacrilato	1.01.06
7	1	Resistencia y termostato	UNE- EN 60335-1	1000W, (20°C-80°C)	1.01.07
8	1	Cubierta		Metacrilato	1.01.08

DISEÑO DE UNA CÁMARA DE NIEBLA SALINA PARA ENSAYOS DE CORROSIÓN

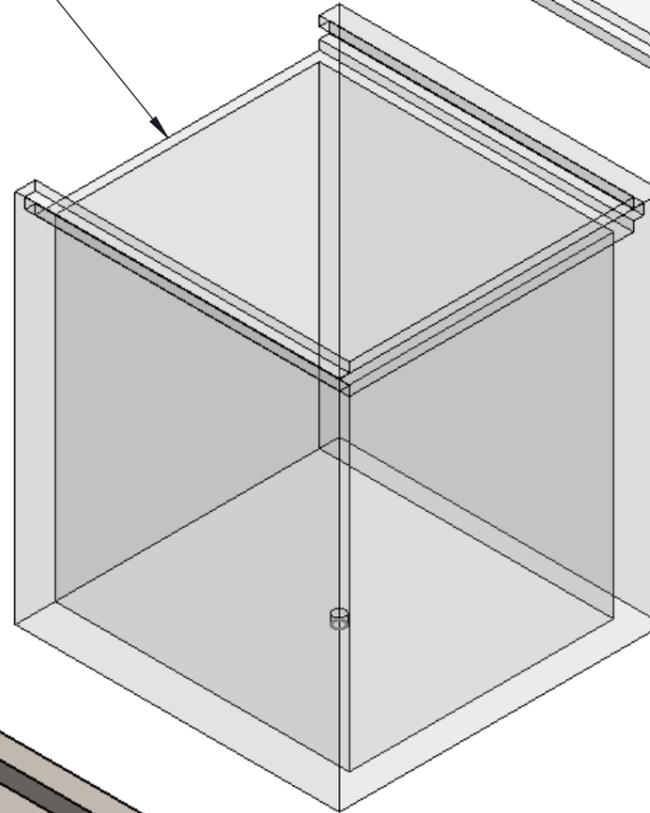
Autores		 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Fecha	ADRIÁN LORENZO PADRÓN PADILLA		
MAR-2016	LEANDRO PEREZ CEDRÉS		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		
ESCALA:	Conjunto: CÁMARA DE NIEBLA SALINA	Nº P.: 1.00.00	Nom.Arch: planodeconjunto.camaraprin.dwg
1:10	Subconjunto: CÁMARA PRINCIPAL		

**Edición para educación de SolidWorks.
Sólo para uso educativo.**

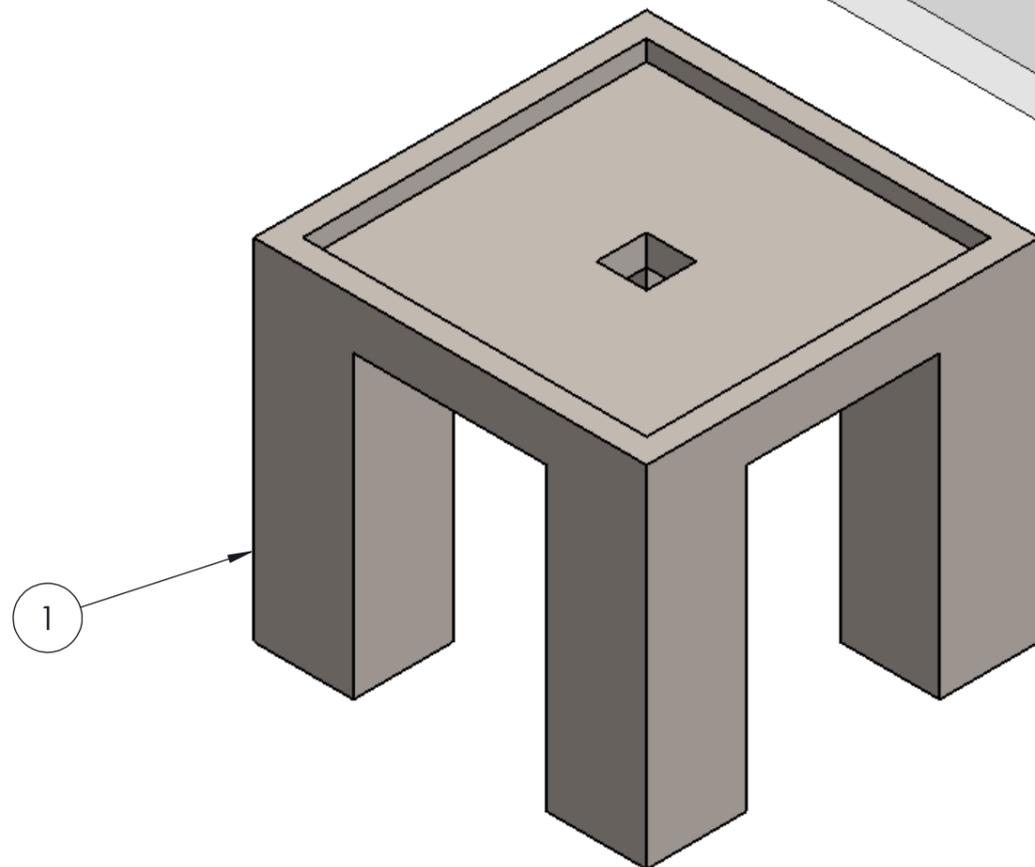
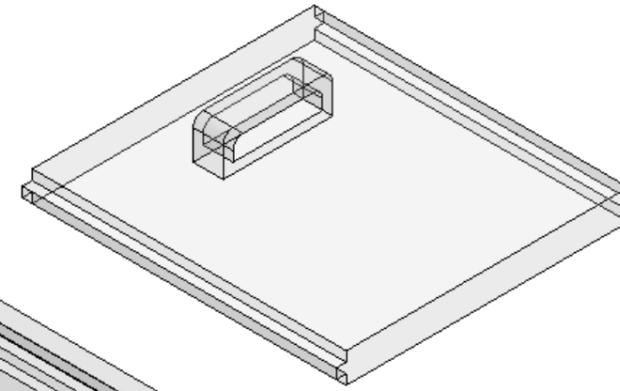


ESCALA 1:10

2



3



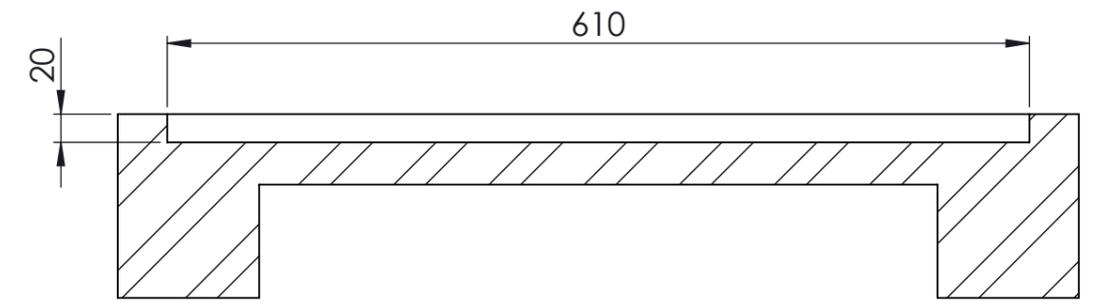
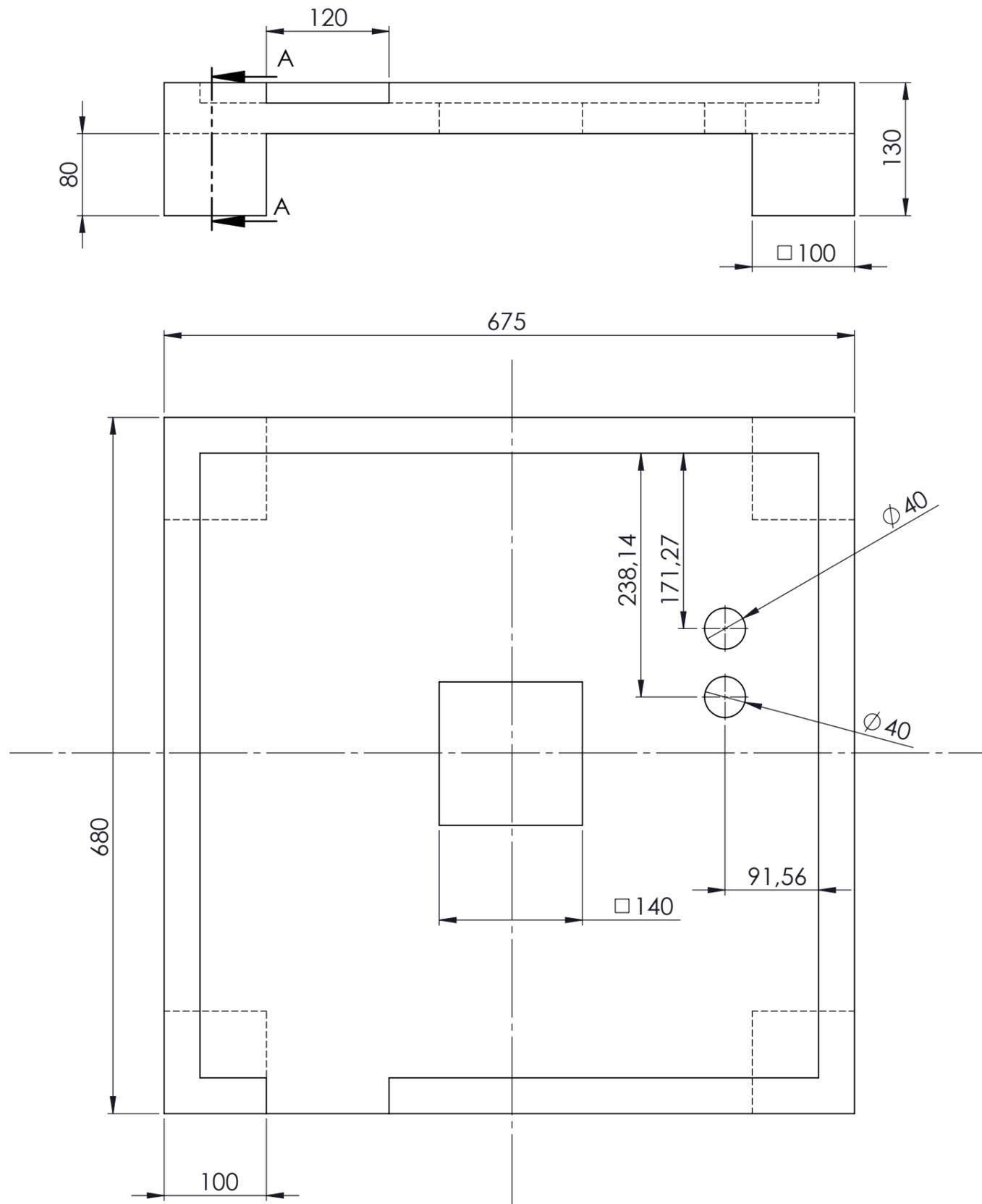
1

MARCA	CANTIDAD	ELEMENTO	NORMA	DESCRIPCIÓN	Nº PLANO
1	1	Soporte depósito de solución salina		Acero inoxidable	1.02.01
2	1	Depósito de solución salina		Metacrilato	1.02.02
3	1	Tapa depósito solución salina		Metacrilato	1.02.03

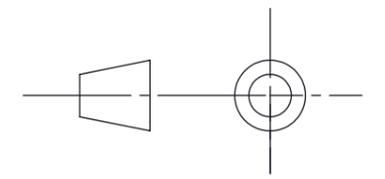
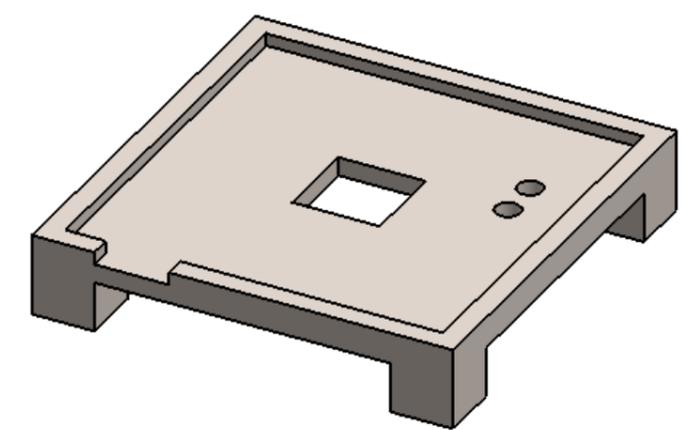
DISEÑO DE UNA CÁMARA DE NIEBLA SALINA PARA ENSAYOS DE CORROSIÓN

Autores			ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Fecha	ADRIÁN LORENZO PADRÓN PADILLA		
MAR-2016	LEANDRO PEREZ CEDRÉS		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		
ESCALA:	Conjunto: CÁMARA DE NIEBLA SALINA Subconjunto: DEPÓSITO DE SOLUCIÓN		Nº P.: 1.00.00 1.02.00
1:5			Nom.Arch:planodesubconjunto.depositosol.dwg

Edición para educación de SolidWorks.
Sólo para uso educativo.

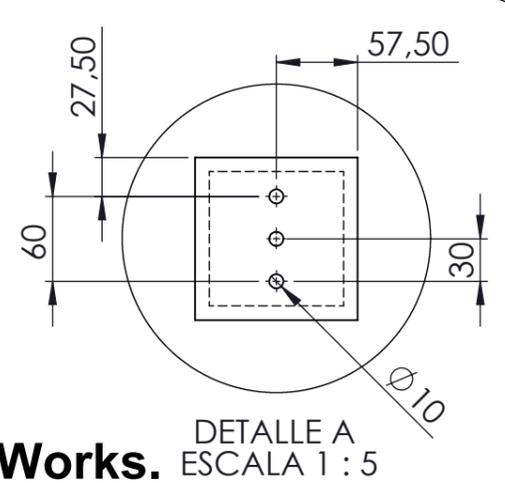
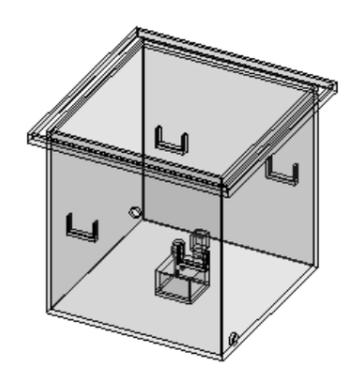
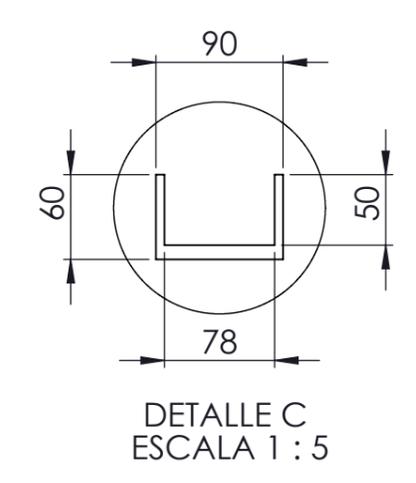
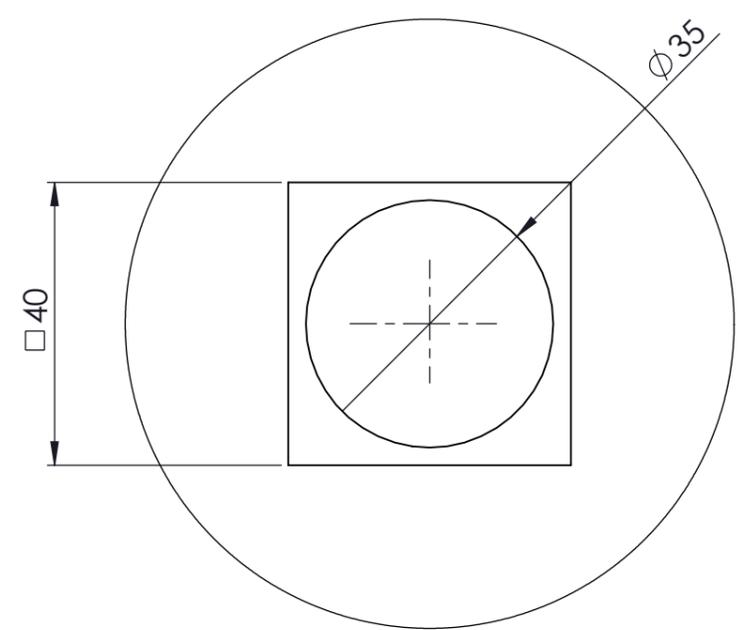
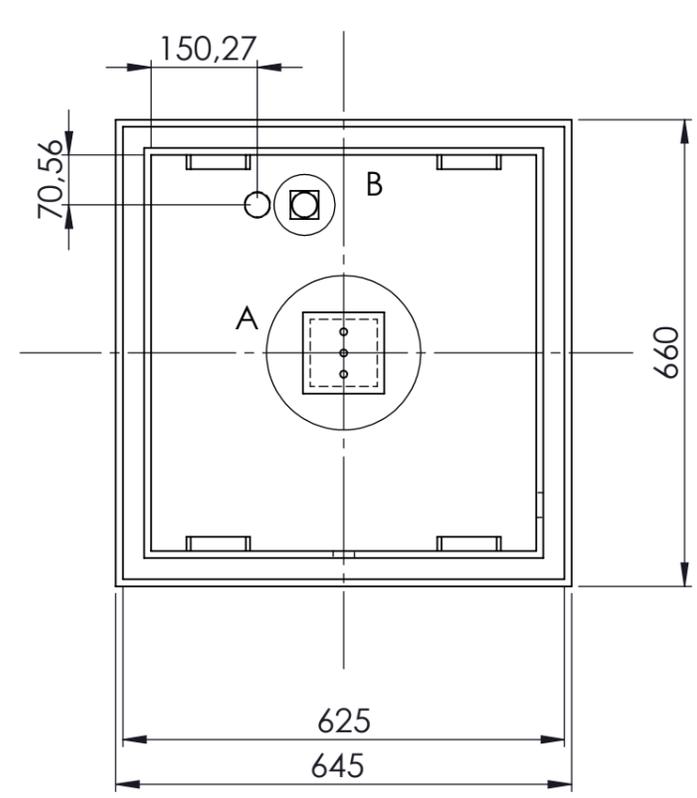
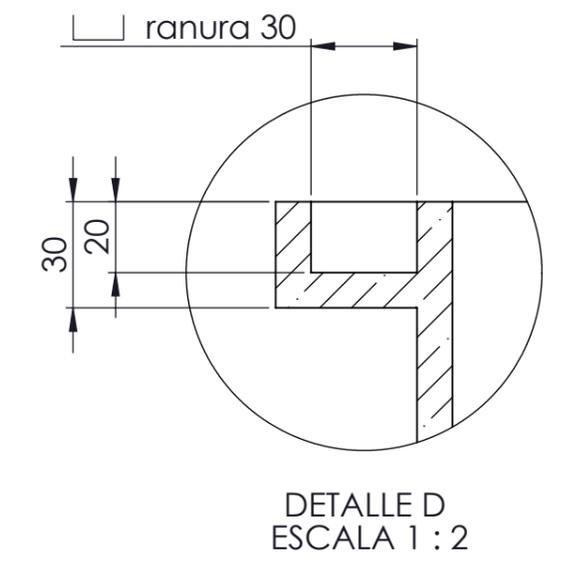
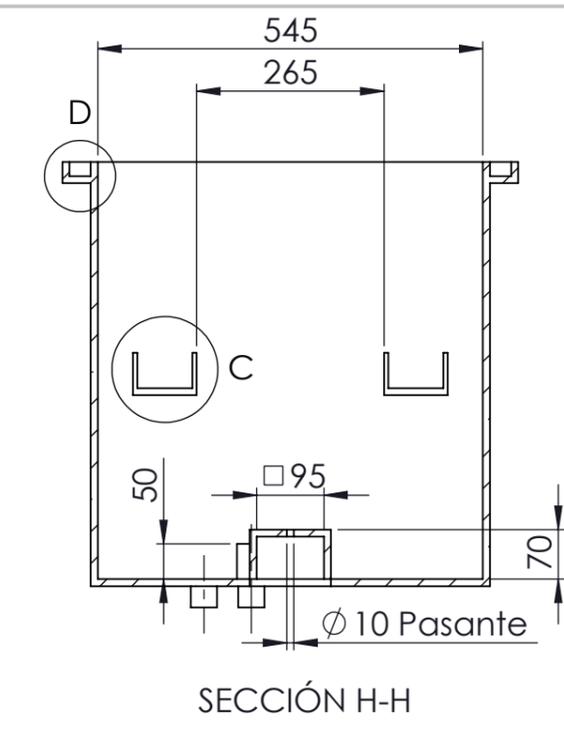
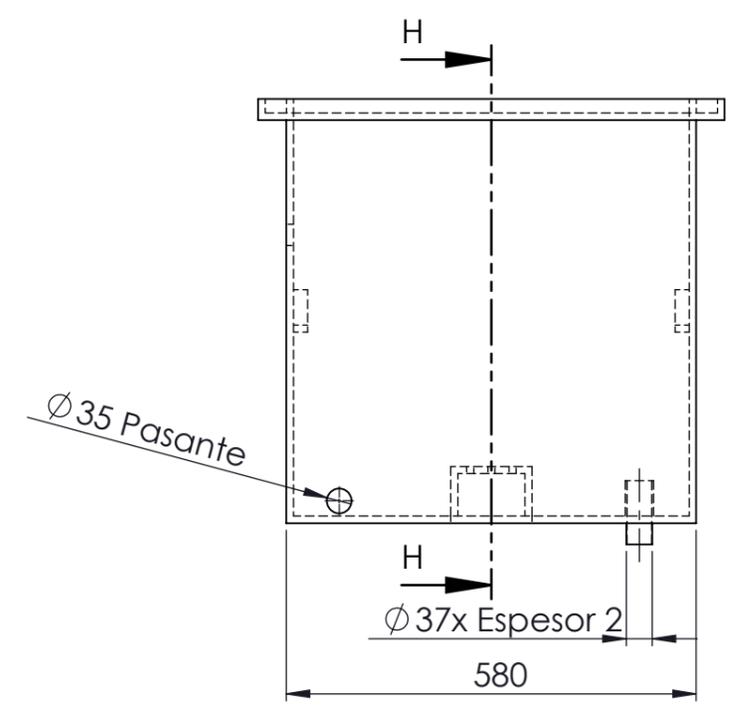
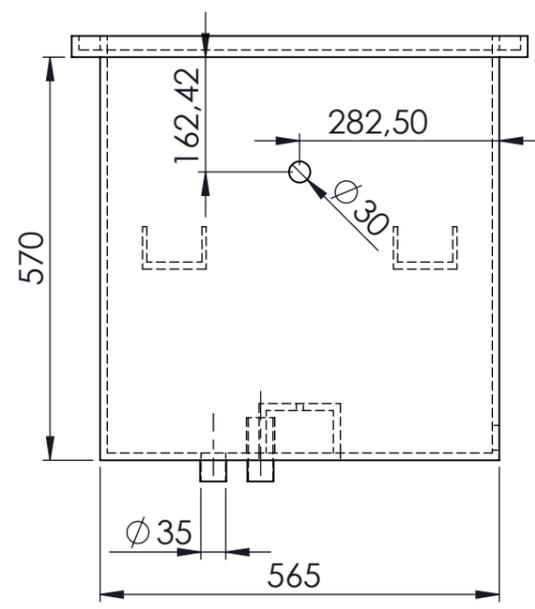


SECCIÓN A-A



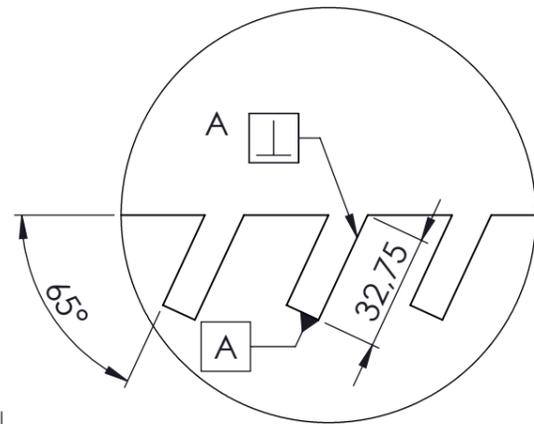
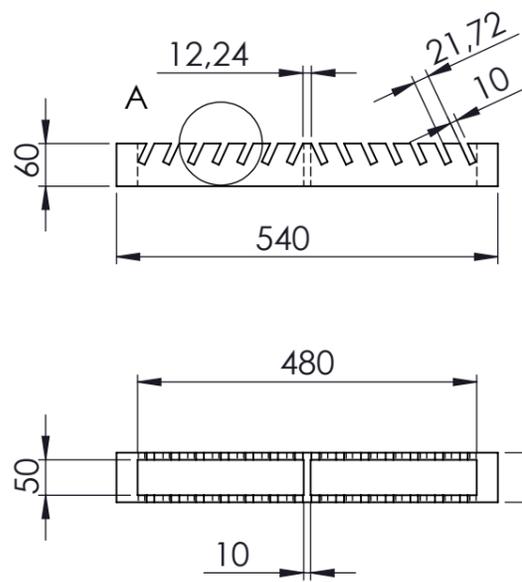
MARCA	CANTIDAD	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
	1	Soporte cámara	Acero inoxidable
DISEÑO DE UNA CÁMARA DE NIEBLA PARA ENSAYOS DE CORROSIÓN			
Autores		 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Fecha	ADRIÁN LORENZO PADRÓN PADILLA		
MAR-2016	LEANDRO PEREZ CEDRÉS		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		
ESCALA:	Subconjunto: CÁMARA PRINCIPAL Plano: SOPORTE CÁMARA		Nº P.: 1.01.00 1.01.01
1:5			Nom.Arch: soportecámara.dwg

**Edición para educación de SolidWorks.
Sólo para uso educativo.**



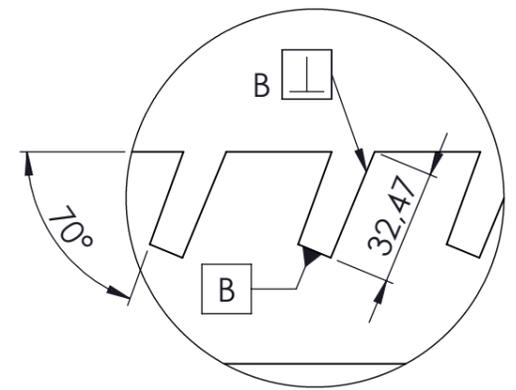
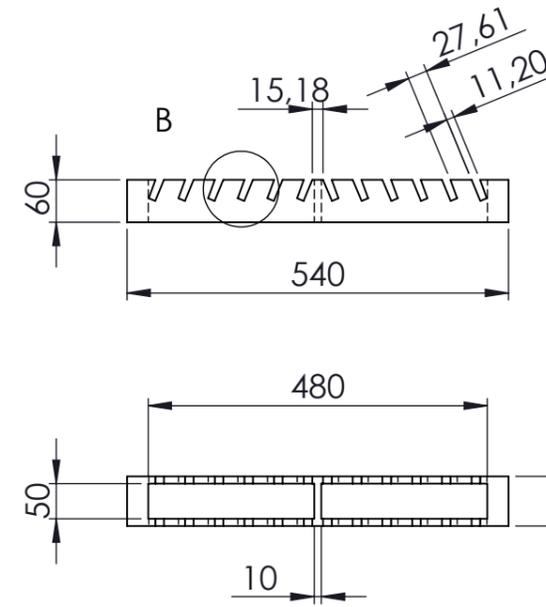
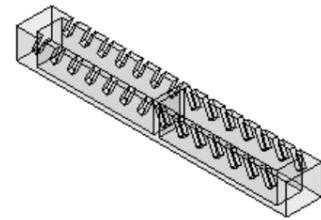
**Edición para educación de SolidWorks.
Sólo para uso educativo.**

MARCA	CANTIDAD	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
2	1	Cámara de niebla	Metacrilato
DISEÑO DE UNA CÁMARA DE NIEBLA PARA ENSAYOS DE CORROSIÓN			
Autores		 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Fecha	ADRIÁN LORENZO PADRÓN PADILLA		
MAR-2016	LEANDRO PEREZ CEDRÉS		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		
ESCALA: 1:10	Subconjunto: CÁMARA PRINCIPAL Plano: CÁMARA DE NIEBLA		Nº P.: 1.01.00 1.01.02 Nom.Arch: camaradeniebla.dwg



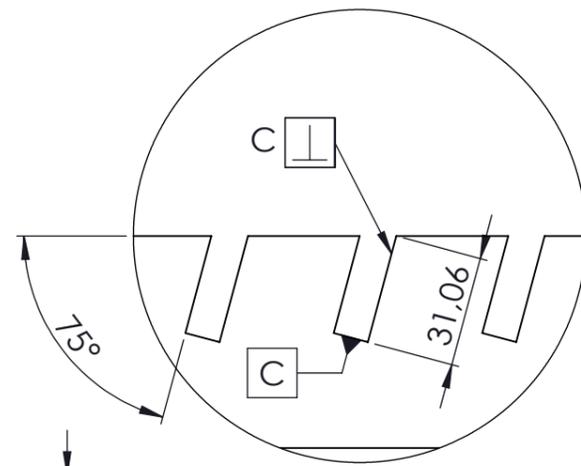
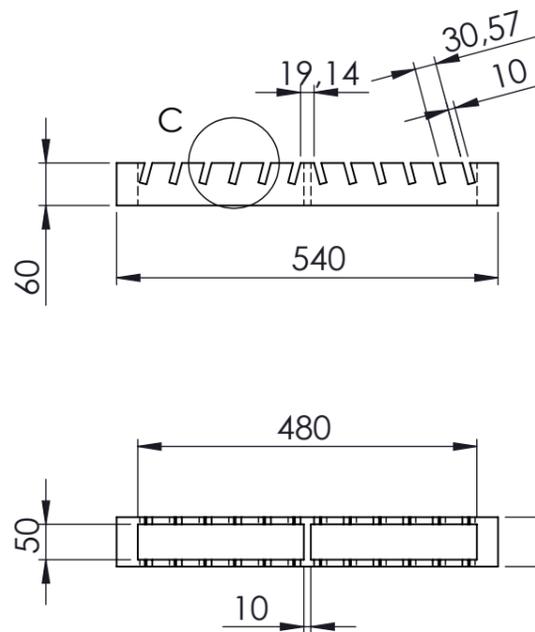
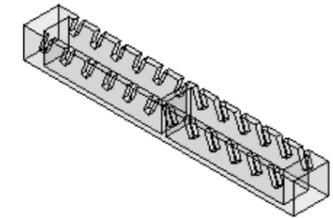
DETALLE A
ESCALA 1 : 2

PAR 65°



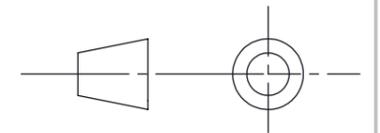
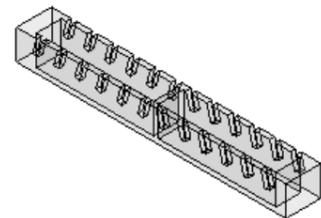
DETALLE B
ESCALA 1 : 2

PAR 70°



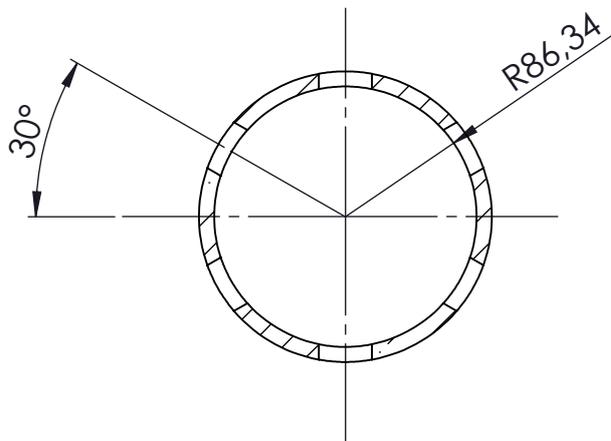
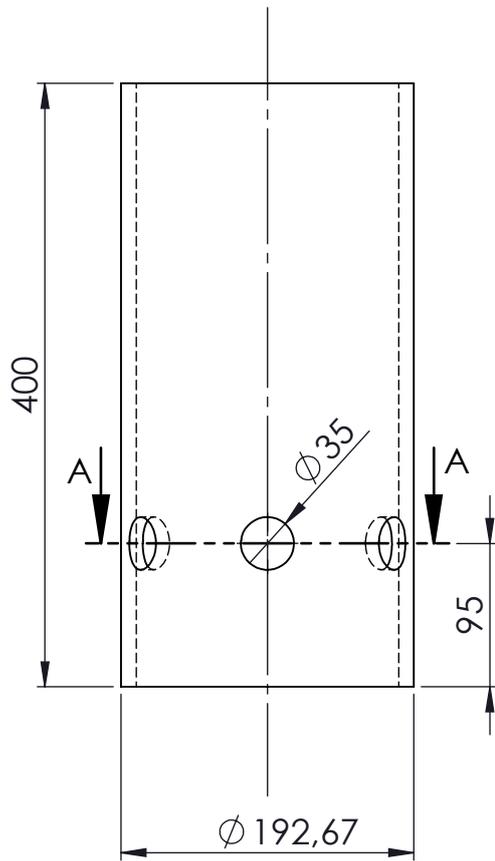
DETALLE C
ESCALA 1 : 2

PAR 75°

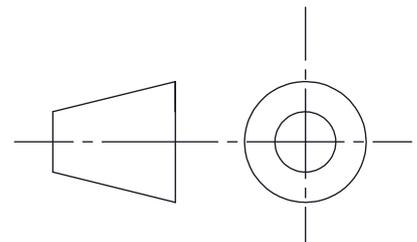
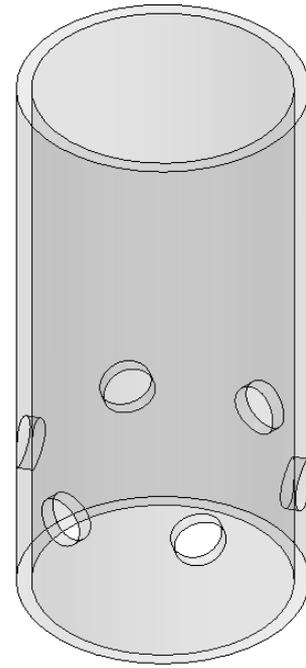


MARCA	CANTIDAD	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
4	2 (65°), 2(70°), 2(75°)	Porta-probetas	Metacrilato
DISEÑO DE UNA CÁMARA DE NIEBLA SALINA PARA ENSAYOS DE CORROSIÓN			
Autores		 ULL Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Fecha	ADRIÁN LORENZO PADRÓN PADILLA		
MAR-2016	LEANDRO PEREZ CEDRÉS		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		
ESCALA:	Subconjunto: CÁMARA PRINCIPAL Plano: PÓRTA-PROBETAS VARIABLE		Nº P.: 1.01.00 1.01.04
1:10			Nom.Arch: Porta-probeta.dwg

**Edición para educación de SolidWorks.
Sólo para uso educativo.**



SECCIÓN A-A



MARCA	CANTIDAD	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
6	1	Tubo de aspersión	Metacrilato

DISEÑO DE UNA CÁMARA DE NIEBLA PARA ENSAYOS DE CORROSIÓN

Autores		 ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Fecha	ADRIÁN LORENZO PADRÓN PADILLA	
MAR-2016	LEANDRO PEREZ CEDRÉS	

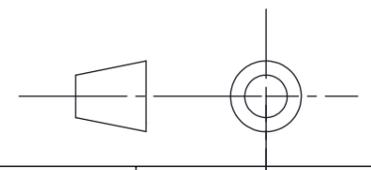
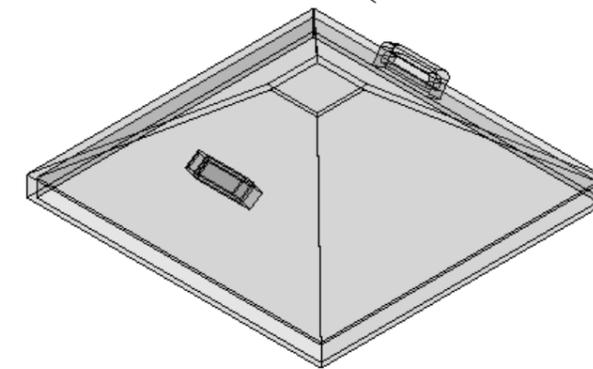
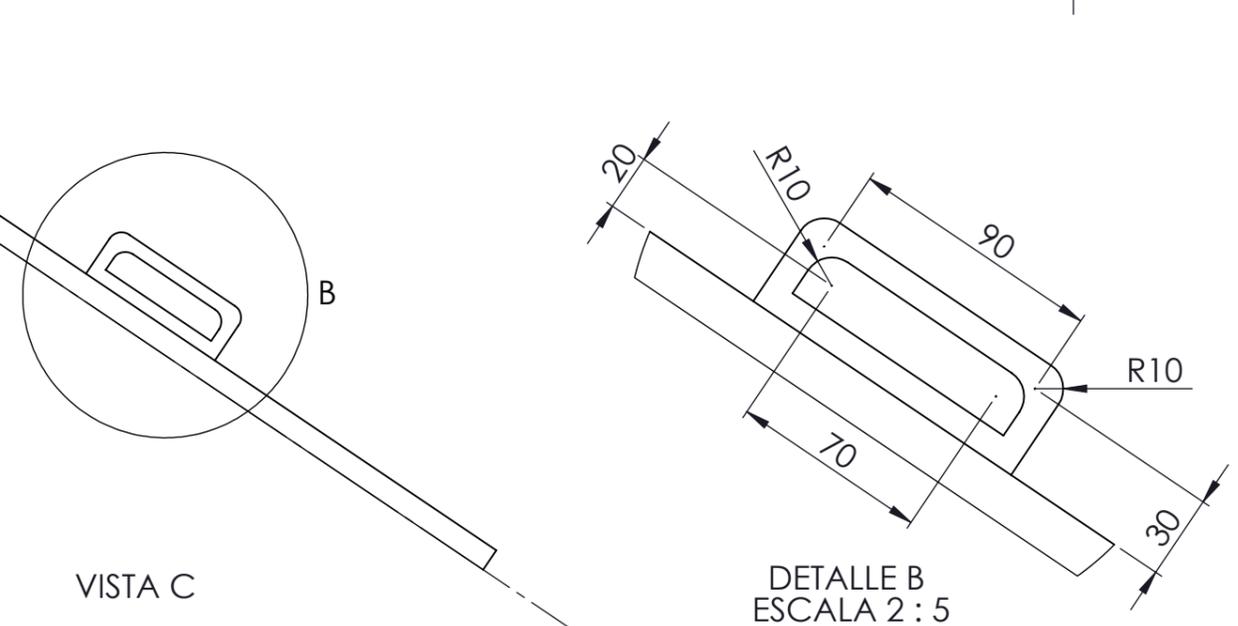
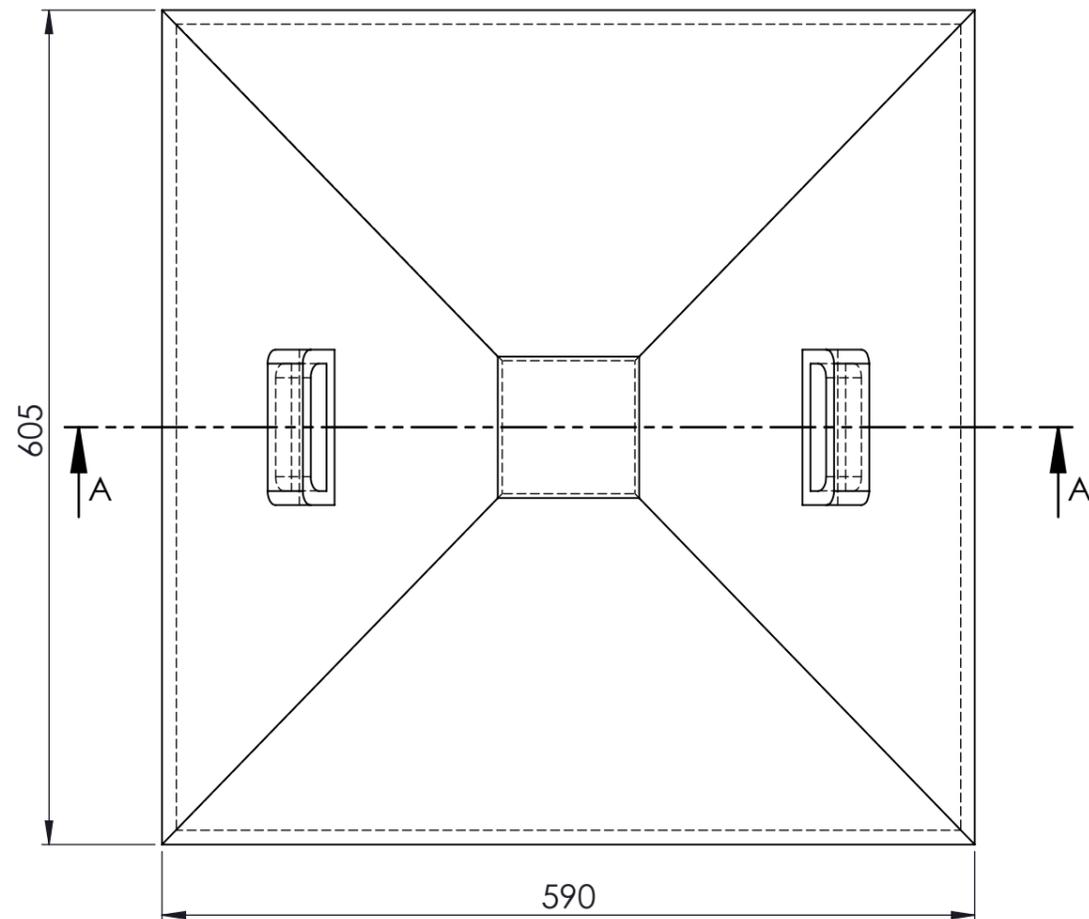
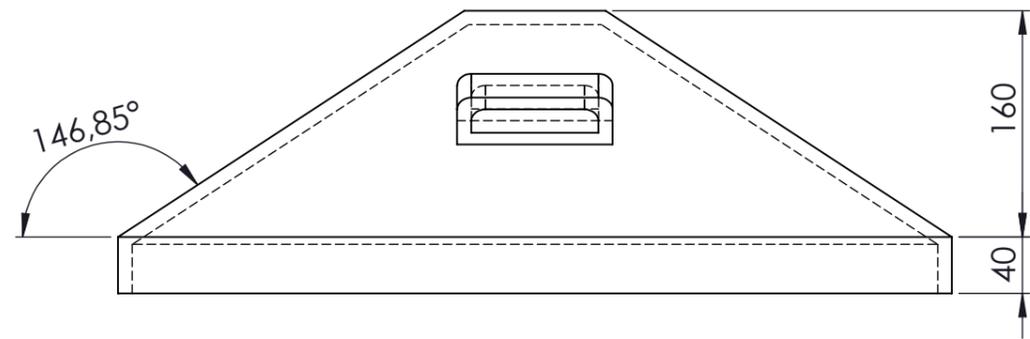
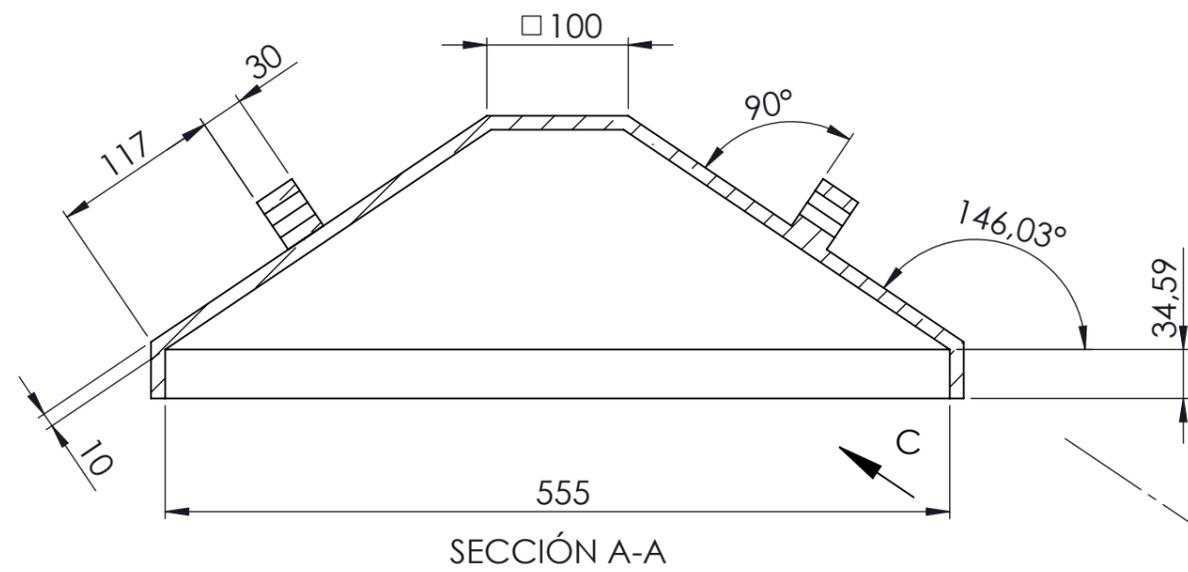
Edición para educación de SolidWorks.
Sólo para uso educativo.

ESCALA:1:5

Subconjunto: CÁMARA PRINCIPAL
Plano: TUBO DE ASPERSIÓN

Nº P. : 1.01.00
1.01.06

Nom.Arch: tubodeaspersión.dwg

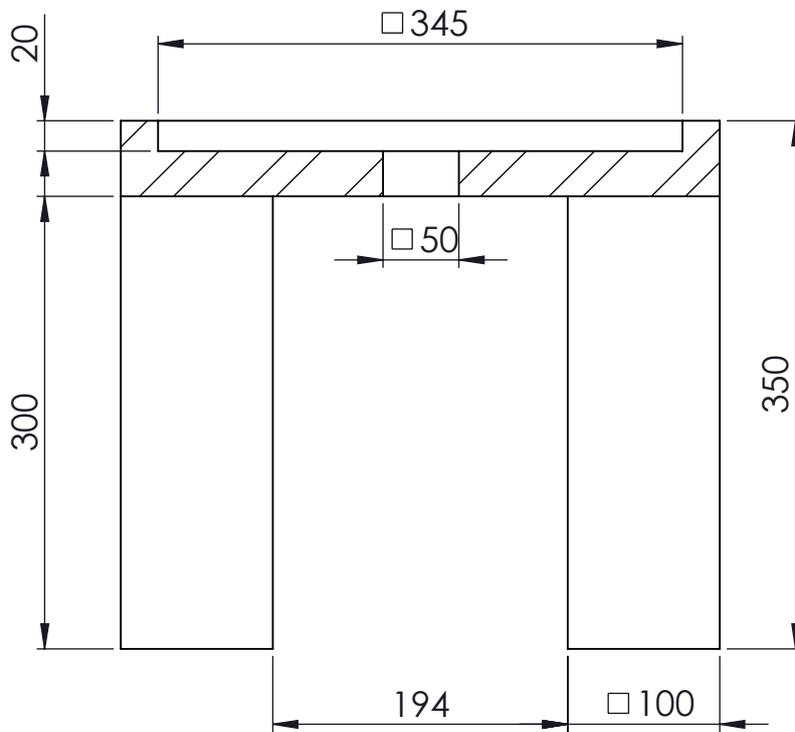


MARCA	CANTIDAD	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
8	1	CUBIERTA	METACRILATO

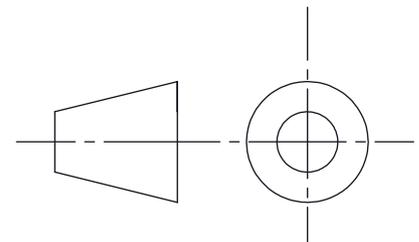
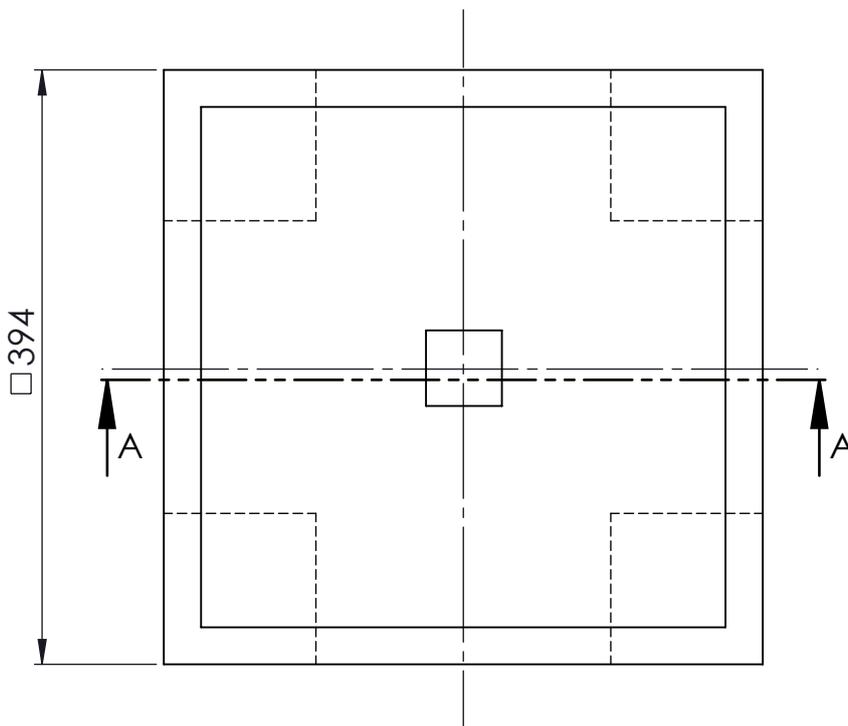
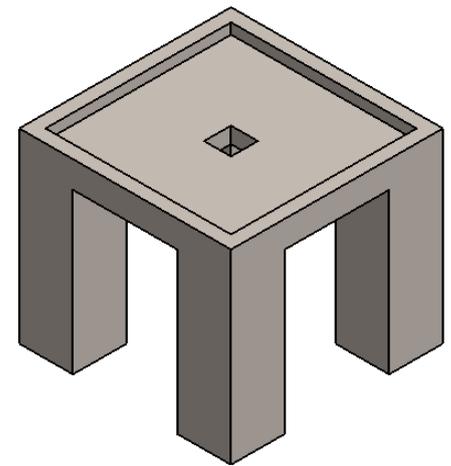
DISEÑO DE UNA CÁMARA DE NIEBLA PARA ENSAYOS DE CORROSIÓN

Autores	ADRIÁN LORENZO PADRÓN PADILLA LEANDRO PEREZ CEDRÉS		ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Fecha	MAR-2016		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		
ESCALA:	Subconjunto: CÁMARA PRINCIPAL Plano: CUBIERTA	Nº P.: 1.01.00 1.01.08	Nom.Arch: cubierta.dwg

Edición para educación de SolidWorks.
Sólo para uso educativo.



SECCIÓN A-A



MARCA	CANTIDAD	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
1	1	Soporte depósito de solución salina	Acero inoxidable

DISEÑO DE UNA CÁMARA DE NIEBLA PARA ENSAYOS DE CORROSIÓN

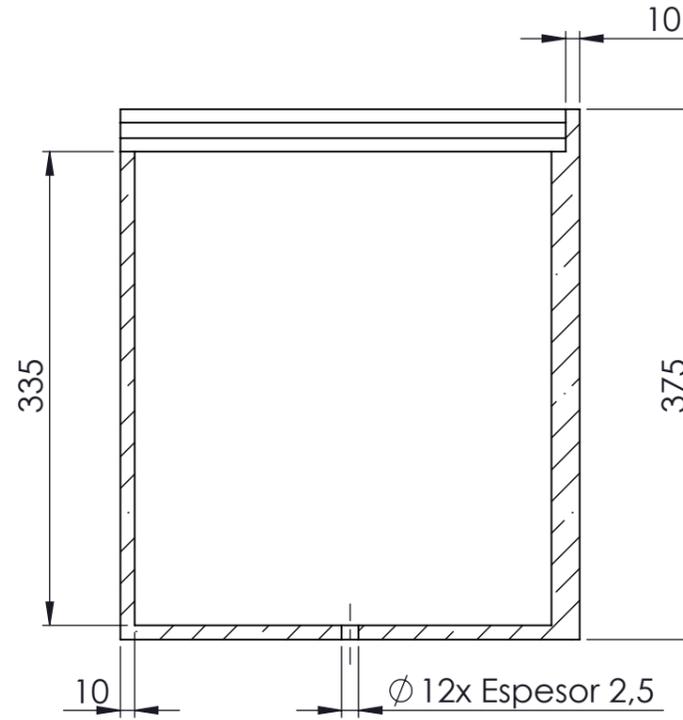
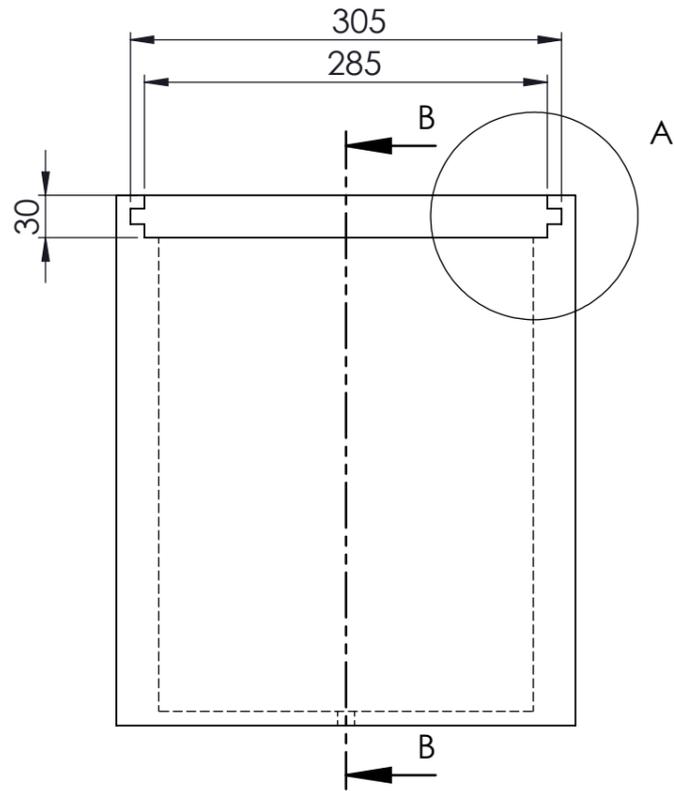
Autores			ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Fecha	ADRIÁN LORENZO PADRÓN PADILLA		
MAR-2016	LEANDRO PEREZ CEDRÉS		

Edición para educación de SolidWorks.
 Sólo para uso educativo.

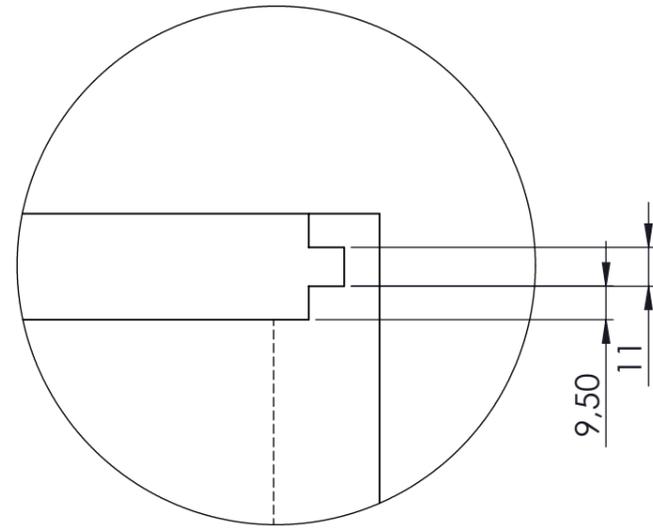
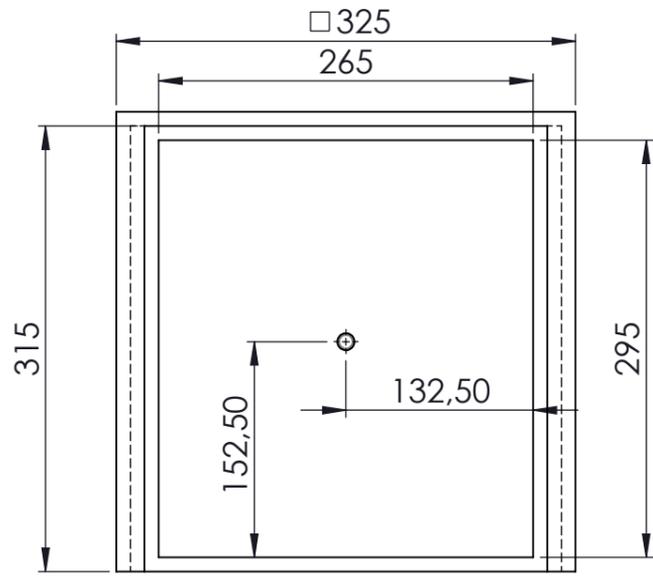
ESCALA:1:5

Subconjunto: DEPÓSITO DE SOLUCIÓN
 Plano: SOPORTE DEPÓSITO DE SOLUCIÓN SALINA

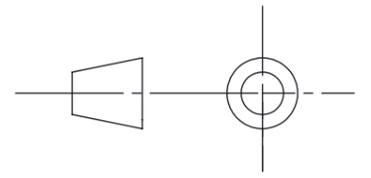
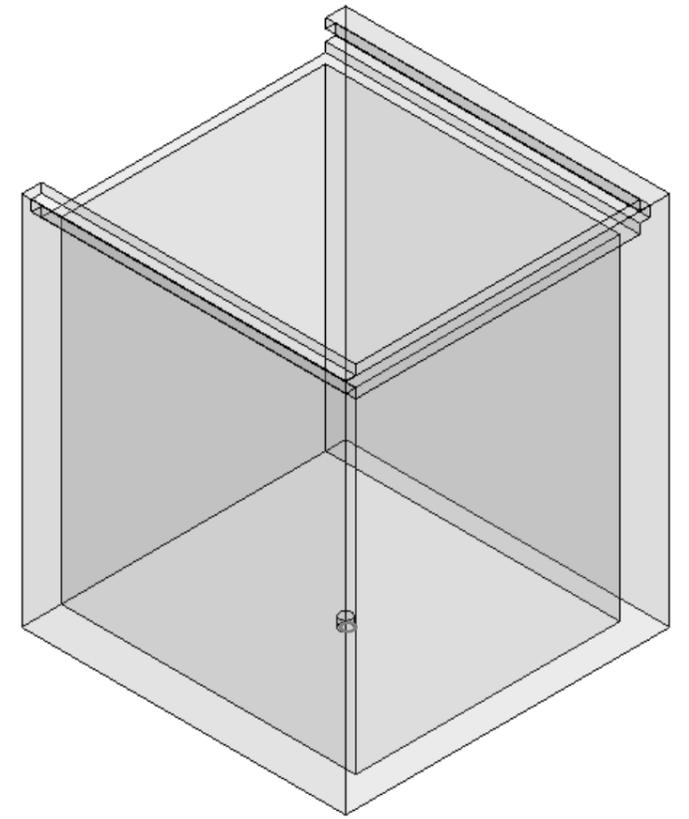
Nº P. : 1.02.00
 1.02.01
 Nom.Arch: soportededepositodesolucion.dwg



SECCIÓN B-B



DETALLE A
ESCALA 1 : 2

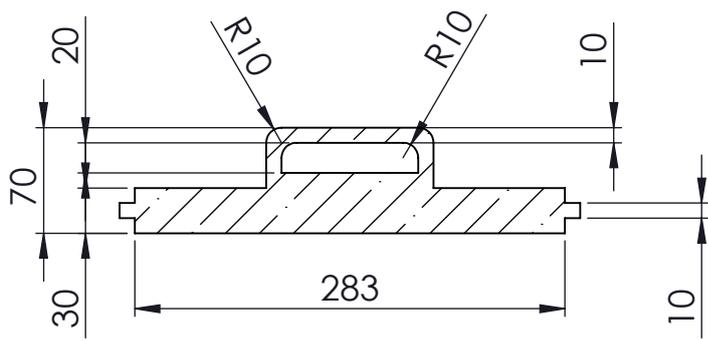


MARCA	CANTIDAD	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
2	1	Depósito de solución salina	Metacrilato

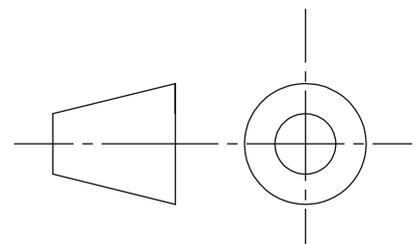
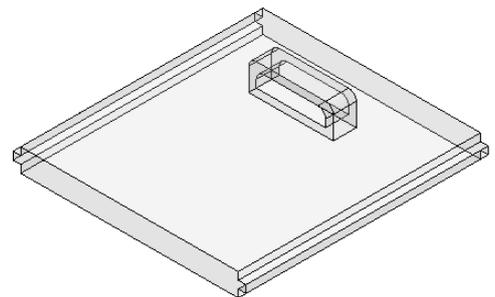
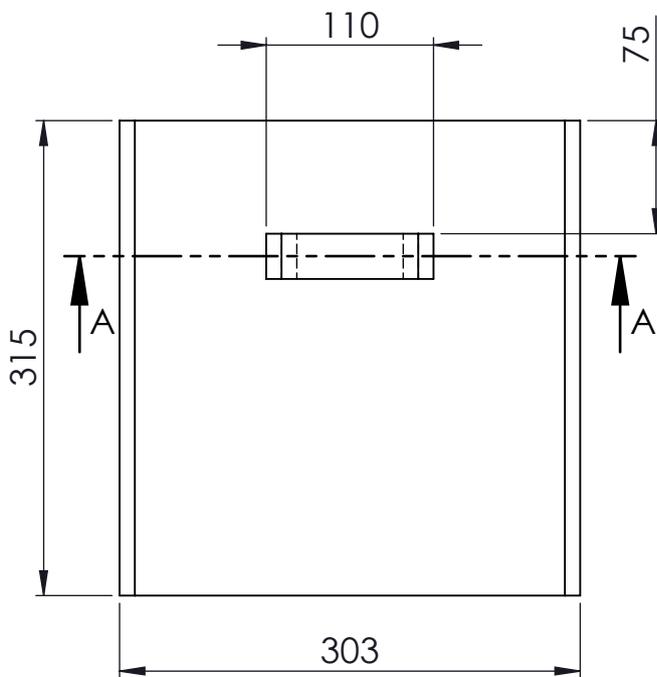
DISEÑO DE UNA CÁMARA DE NIEBLA PARA ENSAYOS DE CORROSIÓN

Autores	ADRIÁN LORENZO PADRÓN PADILLA	 ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Fecha	MAR-2016	
Id. s. normas	UNE-EN-DIN	
ESCALA:	Subconjunto: DEPÓSITO DE SOLUCIÓN Plano: DEPÓSITO DE SOLUCIÓN SALINA	Nº P.: 1.02.00 1.02.02
1:5		Nom.Arch: depósitodesolución.dwg

**Edición para educación de SolidWorks.
Sólo para uso educativo.**



SECCIÓN A-A



MARCA	CANTIDAD	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
3	1	Soporte depósito de solución salina	Metacrilato

DISEÑO DE UNA CÁMARA DE NIEBLA PARA ENSAYOS DE CORROSIÓN

Autores			ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Fecha	ADRIÁN LORENZO PADRÓN PADILLA		
MAR-2016	LEANDRO PEREZ CEDRÉS		

Edición para educación de SolidWorks.
 Sólo para uso educativo.

ESCALA:1:5

Subconjunto: DEPÓSITO DE SOLUCIÓN
 Plano: TAPA DEPÓSITO DE SOLUCIÓN SALINA

Nº P. : 1.02.00
 1.02.03

Nom.Arch: tapadeposito.dwg

ULL

Universidad
de La Laguna

Escuela Superior de
Ingeniería y Tecnología

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y
TECNOLOGÍA**

PLIEGO DE CONDICIONES

**Diseño de una cámara de niebla
salina para ensayos de corrosión.**

POR

Adrián Lorenzo Padrón Padilla

Leandro Pérez Cedrés

La Laguna, MARZO DE 2016

5.1 Definición y alcances del pliego

El presente pliego de condiciones se refiere al diseño de una cámara de niebla salina para el estudio de la corrosión en muestras metálicas de ensayo.

Éste documento básico recoge todas las particularidades del diseño de la máquina en cuestión, como son los materiales empleados, las condiciones de montaje, tolerancias y acabados superficiales mínimos exigidos,...

5.2 Condiciones generales

En este pliego serán de aplicación toda la normativa UNE referente a el ensayo de corrosión en los metales (UNE-EN ISO 9227:2012). Esta norma viene derivada de la normativa ASTM B-177 (1997) aplicada en EEUU.

5.3 Condiciones particulares

5.3.1 Condiciones legales y condiciones económicas

En el pliego de condiciones se reflejan las condiciones contractuales, los plazos de ejecución y las repercusiones de no cumplir el contrato, de ahí su gran importancia como documento de un proyecto. En nuestro caso, al tratarse de un TFG sólo se incluyen las condiciones relativas al montaje del diseño, dejando aparte las condiciones legales y económicas en primera instancia.

5.3.2 Condiciones facultativas y del fabricante.

5.3.2.1 Funciones facultativas del Ingeniero Director

El Ingeniero Director será el encargado de comprobar que las características dimensionales de los elementos prefabricados son las correctas, también redactar los complementarios o rectificadores del proyecto que se precisen.

Otra función fundamental del Ingeniero Director tiene lugar en la etapa de fabricación de la pieza, asistiendo al taller cuantas veces lo requiera la naturaleza y complejidad del prototipo, a fin de resolver las contingencias que se produzcan e impartir las instrucciones complementarias que sean precisas para lograr mejores resultados.

Asimismo debe planificar la política de calidad en vista de la repercusión del proyecto, ordenar y analizar la ejecución del material con arreglo al proyecto y realizar o disponer las pruebas y ensayos de materiales, que resulten necesarias para asegurar la calidad constructiva de acuerdo al proyecto y la normativa técnica aplicable.

Por último comprobar el correcto funcionamiento de la cámara de niebla salina ya fabricada y en caso de existir alguna anomalía tomar las medidas oportunas para corregir estos defectos antes de su entrega.

5.3.2.2 Funciones del fabricante

El fabricante es el principal encargado de organizar todos los trabajos de fabricación. Así que es importante elegir el fabricante que mejor se adapte a las condiciones del cliente en cuanto a tiempo de trabajo, disponibilidad de maquinaria, recursos y presupuesto.

Debe disponer en todo momento de las medidas preventivas, velando por su cumplimiento y por la vigilancia de la normativa vigente en materia de seguridad e higiene de trabajo, así como ostentar la jefatura de todo el personal que intervenga en las tareas de fabricación.

Presenta un papel muy importante a la hora de asegurar que cada uno de los materiales sea comprobado y cumplan con las propiedades que se han prefijado. Toda esta labor se realiza con la ayuda del Ingeniero Director, para rechazar aquellos prefabricados que no cuenten con las garantías o documentos de idoneidad requeridos por las normas de aplicación. Es necesario que el fabricante facilite con antelación suficiente los materiales precisos para el cumplimiento de su contenido.

5.3.3 Condiciones técnicas.

5.3.3.1 Instrucciones de seguridad

La cámara de niebla salina no es un sistema totalmente manual, sino que tiene partes eléctricas por lo que hay que tener precaución. Es importante tener en cuenta una serie de aspectos como la zona de trabajo o los equipos de protección individual para que no ocurra ningún accidente.

Primero hay que identificar los posibles riesgos que se pueden dar, para posteriormente buscar soluciones que aminoren estos riesgos:

En cuanto a la zona de trabajo es imprescindible situar la cámara en una zona ordenada, limpia y libre de materiales no relacionados con la cámara de niebla salina.

Dado que se trabaja en un laboratorio, es indispensable el uso de un equipo de protección individual que para este caso estará conformado por:

- Guantes protectores apropiados para todos los procedimientos que puedan originar un contacto directo o accidental con la disolución química que se esté utilizando en el ensayo. Pueden ser de materiales desechables como el látex para una mayor comodidad.
- Ropa de laboratorio como bata de manga larga que cubran por completo el antebrazo y abotonadas hasta arriba, ya que al trabajar con una disolución química se puede contaminar nuestra propia ropa.
- Gafas de seguridad para proteger los ojos de salpicaduras con protección lateral.
- Equipo de protección respiratoria como la mascarilla, la cual debe ajustarse bien al rostro.

En cuanto al compresor, es importante saber que este aparato va conectado a una toma de corriente, por lo que se debe evitar cualquier tipo de contacto con el agua en el momento de encendido y durante su funcionamiento.

Antes de empezar el ensayo hay que comprobar que todas las salidas de la cámara y la propia cubierta se encuentren bien cerradas, para evitar cualquier tipo de fuga, ya que durante el ensayo el cierre hermético la cámara es imprescindible. Como se especifica en el capítulo II Memoria.

La colocación de probetas y su recogida se debe hacer cuando sistema no esté en funcionamiento, así como el reglaje, la localización o la limpieza de elementos que se encuentren dentro de la cámara, por ejemplo el tubo para la corrección de la aspersion, el pluviómetro, el tapón para el sumidero...

La resistencia de calefacción de la cámara de niebla debe disponer de un dispositivo de seguridad que suspenda el calentamiento automáticamente cuando este excede los límites de temperatura, evitando de esta manera una temperatura excesiva en el interior de la cámara mediante una desconexión del sistema de calefacción.

5.3.3.2 Condiciones de los materiales

El material utilizado para la realización del diseño de la cámara principal así como del depósito auxiliar, en su mayor parte será el metacrilato (PMMA, polimetilmetacrilato) que fue seleccionado en el capítulo II Memoria, el cual permite la visibilidad mientras se realiza el ensayo, que gracias a su transparencia será posible observar el proceso que se lleva a cabo dentro de la cámara. También se caracteriza por poseer una alta resistencia al impacto y una densidad muy reducida lo que hace que el dispositivo tenga un peso ligero permitiendo desplazar la cámara y sus componentes sin necesidad de hacer un esfuerzo excesivo.

El metacrilato PMMA se caracteriza por tener una buena resistencia al aire salino lo que conlleva a menor ensuciamiento de las paredes de la cámara de niebla permitiendo la visibilidad durante un período de tiempo más largo. Esta propiedad ha sido condicionante e indispensable en la selección.

Este material (PMMA) se fabrica por colada o por extrusión y se comercializa generalmente en planchas aunque también en cilindros pero en menor proporción. En nuestro diseño, se ha necesitado cilindros de los cuales se ha tenido que presupuestar el metro y cortar lo necesario, ya que no se comercializan cilindros de metacrilato PMMA de menos de 1 metro, lo que nos ha supuesto un coste extra en el presupuesto. Por ese motivo se realiza el diseño de la cámara con forma cúbica simple, esta forma permite facilitar el trabajo de diseño, que se ha realizado a partir de láminas de 1 cm de espesor (mínimo espesor que fabrican en la empresa Gráficas Comenge, de donde obtuvimos precios y características). Dicho espesor se ha seleccionado por motivos de aligeramiento y manejabilidad de la misma.

El ensamblaje de las paredes de la cámara se realiza por pegado, ya que es la forma óptima y menos problemática a la hora de trabajar con fluidos corrosivos. Aumentando la vida útil del sistema.

Se ha llevado a cabo el diseño de dos soportes donde irán ubicados la cámara principal y el depósito de solución salina. Ambos se fabrican de acero inoxidable con el objetivo de evitar la corrosión en caso fugas durante el ensayo. Además los vapores que son eliminados al ambiente cuando se abre la cámara para su manipulación interna también son altamente corrosivos y podrían deteriorar los soportes. Por ello, se selecciona un acero inoxidable AISI 316, cuya característica principal es su alta resistencia a la corrosión.

Estos soportes deben resistir el peso de la cámara, las probetas y elementos como el pluviómetro, la resistencia, los porta-probetas,... introducidos en su interior. Además del peso del agua que rellena el fondo de la cámara de niebla, junto al el volumen de lluvia añadido al sistema.

Los soportes deben dar rigidez y estabilidad a todo el sistema, manteniendo en todo momento un buen aspecto.

5.3.3.3 Tolerancias

Las tolerancias del diseño se han indicado en los planos. Cabe mencionar que algunas tolerancias han sido propuestas por el fabricante, siendo aprobadas por los autores del proyecto.

5.3.3.4 Acabado superficial

El acabado superficial será el indicado en los planos. En el caso en que no se indique nada al respecto, se deja el elemento con el acabado superficial original del material del que se obtiene la pieza.

5.3.3.5 Montaje

Las operaciones de montaje son sencillas, pero debe realizarse en el orden que describimos a continuación;

Primero colocamos la cámara niebla (depósito principal), donde se va a realizar el ensayo, en la base del soporte que contiene las patas más cortas. Haciendo coincidir los agujeros en la base del soporte con los de la base de la cámara que corresponderán a los dos sumideros señalados a continuación.

El sumidero 1 es aquel que nos marcará el nivel de agua que debe haber por normativa en la base del depósito y para ello lleva acoplado un tubo de altura suficiente como para cubrir la resistencia eléctrica que calienta el agua alojada en la base de la cámara.

El sumidero 2 dispondrá de un tapón para poder vaciar la cámara por completo. A continuación en la figura 1 se muestra las conexiones salientes correspondiente a cada sumidero y seguidamente en la figura 2 la cámara apoyada en su respectivo soporte y las angueras conectadas.

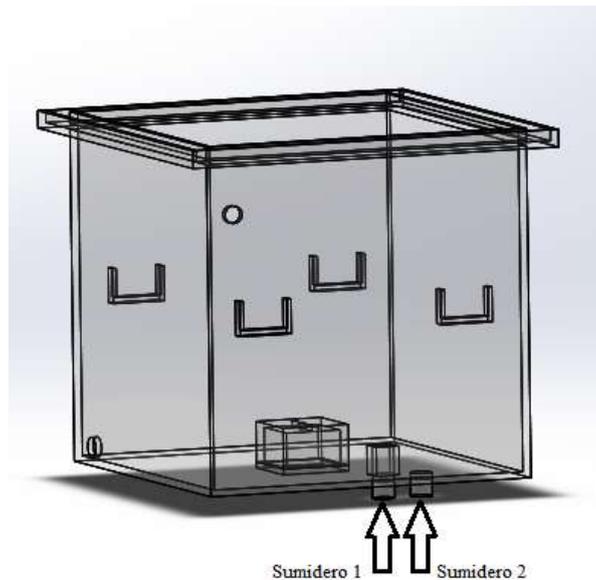


Figura 45. Cilindros salientes para conectar

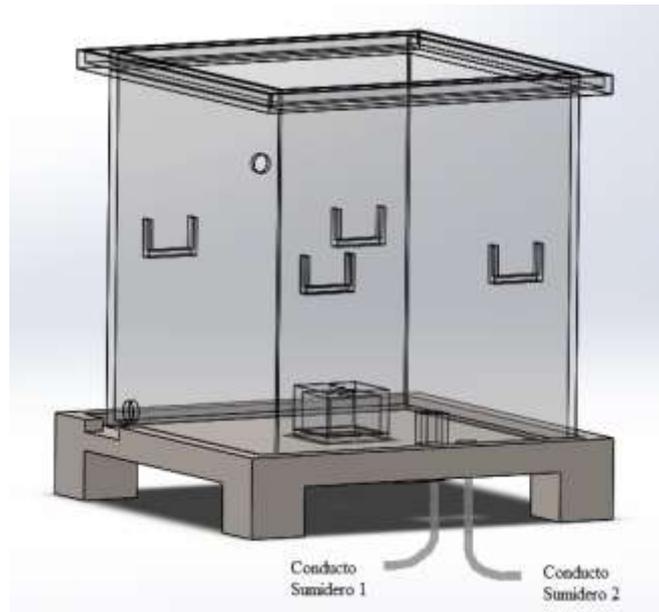


Figura 46. Ensamblaje de la cámara de niebla (depósito principal) con su soporte y unión de

La instalación de las mangueras en las conexiones salientes ubicadas en la base de la cámara, se llevan a cabo de la siguiente manera;

Se introducen las conexiones salientes en las mangueras a presión y se añade una abrazadera de material inoxidable para sujetar la manguera a las conexiones salientes correspondientes a cada sumidero y así dejar la unión hermética. Aparte de la hermeticidad originada por la abrazadera, también se ha diseñado unos orificios en el soporte con una mínima holgura para que las paredes de este hagan presión sobre las mangueras instaladas en los sumideros, asegurándonos de una perfecta unión.

Ambas mangueras que provienen de los sumideros contienen fluido que no se volverá a utilizar, por lo tanto se han dirigido a un sumidero para eliminar las disoluciones residuales.

Después colocamos el depósito de solución salina en su respectivo soporte de acero inoxidable. Dicho soporte es el que posee las patas más largas (figura 3). Se colocará de tal manera que la conexión saliente del depósito de solución salina quede centrada en el orificio cuadrado diseñado en el soporte.

Este orificio cuadrado nos permitirá insertar la manguera a través de la zona inferior del soporte. Esta unión se establece como las anteriores, es decir, se introduce la conexión

saliente por la manguera a presión y se añade una abrazadera para afianzar la manguera a la conexión saliente diseñada en zona central de la base del depósito de solución salina.

Las abrazaderas se instalan con un diámetro mayor y se localizan unos milímetros por encima de la intersección entre la conexión saliente y la manguera. Luego con un destornillador se enrosca un tornillo que acorta el diámetro de la abrazadera originando un apriete en la unión.

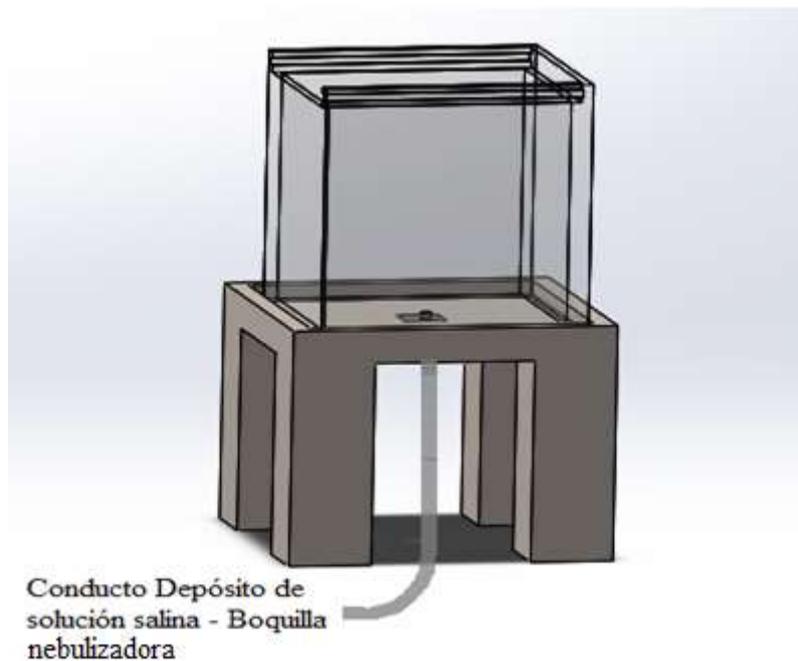


Figura 47. Ensamble del depósito de solución salina con su soporte y unión de conducto. Fuente: Propia

Luego, ubicamos la boquilla nebulizadora en el centro de la cámara de niebla en una posición vertical tal que el conducto de aire comprimido y el de solución proveniente del depósito de solución salina queden a sus extremos para poder conectarlos en sus respectivas entradas diseñadas en la boquilla.

Dichos conductos se introducen en la cámara por los orificios ubicados a los lados, donde irá ubicada la boquilla nebulizadora (figura 4) y se conectan a la misma mediante un sistema que explicaremos más adelante.

La instalación de la boquilla consiste en introducir desde el interior de la cámara de niebla (depósito principal) por el orificio central señalado en la figura 4, el perno de la boquilla nebulizadora con su junta tórica de goma. Acto seguido, en la parte inferior a través del soporte de la cámara de niebla se monta otra junta tórica de diámetro 7 mm junto una tuerca que irá enroscada en el perno de la boquilla que previamente se había introducido en el agujero central. De manera que la tuerca ejercerá presión para que nuestra boquilla quede inmobilizada.

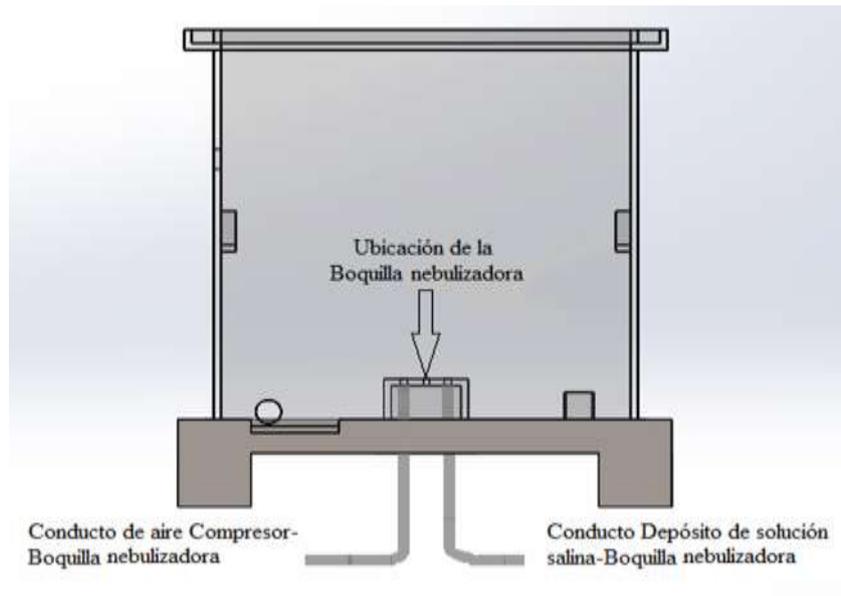


Figura 48. Base donde se asentará la boquilla nebulizadora y unión de los conductos (aire y solución) a los agujeros extremos de la boquilla. Fuente: Propia

Las juntas tóricas (figura 5) son un tipo de junta de forma toroidal y de goma, cuya función es la de asegurar la estanqueidad de fluidos. Por lo general, se encuentra en equipos para impedir el intercambio de líquidos o gases en las uniones entre elementos. Estas juntas se colocan en ranuras diseñadas para tal efecto en los elementos de cierre y las colocaremos en la instalación de la boquilla nebulizadora, la instalación de la resistencia eléctrica o la instalación del termómetro.



Figura 49. Juntas tóricas para asegurar la estanqueidad de fluidos. Fuente: Propia

A continuación, se termina de instalar el conducto que conecta la salida del depósito de solución salina con la entrada derecha de la boquilla nebulizadora señalada con una flecha azul en la figura 6 adjunta.

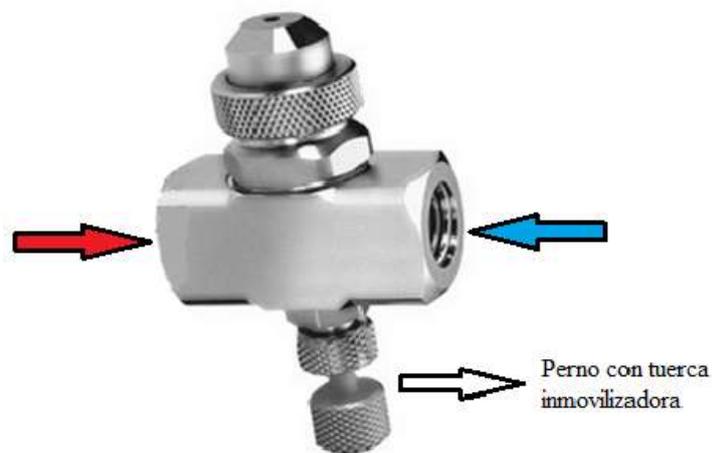


Figura 50. Boquilla nebulizadora. Fuente: Alava ingenieros

Este conducto de unión está formado por dos tramos unidos a una válvula de paso.

Un primer tramo conecta el depósito de solución salina con la entrada de la válvula de paso, donde ya se explicó cómo se instalaba uno de los extremos del conducto con el

depósito de solución salina. Y un segundo tramo conecta la salida de la válvula de paso a la entrada derecha de la boquilla (figura 7).

La finalidad de la válvula de paso es regular el suministro de caudal de solución salina proveniente del depósito y a su vez controlar la pulverización efectuada por la boquilla nebulizadora. Las dimensiones de la misma se especifican en el capítulo II Memoria.

La instalación de los dos extremos que se unen en la válvula de paso es la siguiente;

La válvula viene equipada con un reborde en la boquilla de entrada y salida para afianzar ambos tramos de manguera y no existan fugas. Su montaje consiste en introducir a presión la boquilla de entrada en el extremo de manguera que proviene del depósito de solución salina y volver a hacer la misma operación para el extremo que une la salida de la válvula de paso con la entrada derecha de la boquilla nebulizadora.

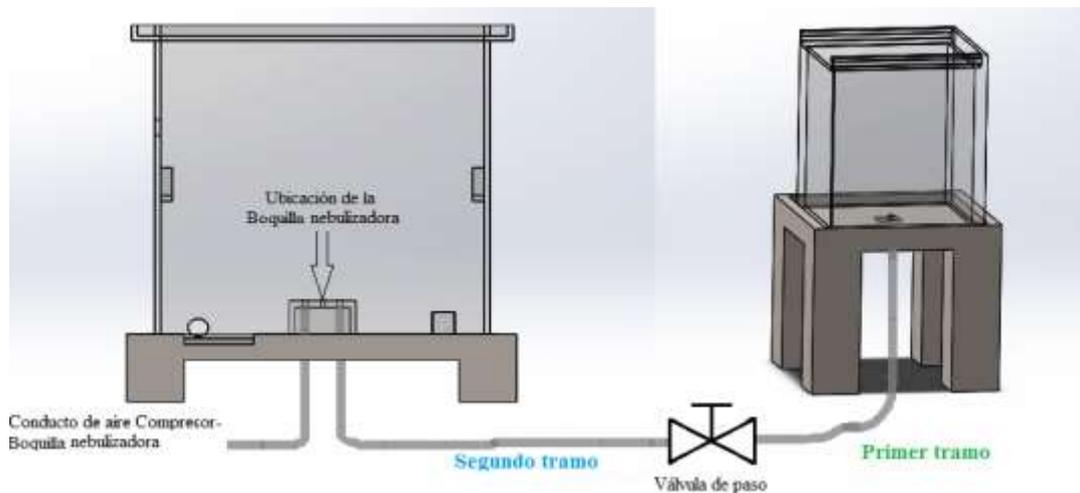


Figura 51. Señalización de la válvula de paso que une los dos tramos de manguera desde la cámara de niebla (depósito principal) hasta el depósito de solución salina. Fuente: Propia

La instalación del segundo tramo que conecta la salida de la válvula de paso y la entrada derecha de la boquilla se conectará en el interior cámara de niebla (depósito principal) mediante un adaptador de acero inoxidable que posee la boquilla nebulizadora (figura 8).



Figura 52. Adaptador inoxidable de la boquilla nebulizadora. Fuente: Alava ingeniero.

Se trata de un conector manguera-terminal simple de instalar. La boquilla nebulizadora trae dos adaptadores, uno para la entrada a la boquilla de la solución salina y otro para la entrada del aire. Ambos se enroscan en sus respectivas entradas.

Dicho adaptador contiene un conector en forma de tubo con cuatro rebordes que se introducen a presión en la manguera sujetándola, a continuación añadimos una abrazadera para cada adaptador tal y como se ha hecho anteriormente para afianzar las conexiones.

Para acabar con el montaje de los conductos o mangueras, imprescindibles para el funcionamiento del sistema, se instala el tercer tramo como muestra la figura 9, correspondiente a la conexión que une la salida de aire del compresor a la entrada izquierda de la boquilla nebulizadora señalada con una flecha roja en la figura 6.

La salida de aire del compresor posee una boquilla donde se encajará la manguera a presión y se añadirá una abrazadera donde se podrá modificar el perímetro de esta mediante un destornillador para apretar la unión. De la misma manera la unión del otro extremo de la manguera con la entrada izquierda de la boquilla nebulizadora se realiza mediante un conector manguera-terminal cuyo montaje, ya se explicó anteriormente.

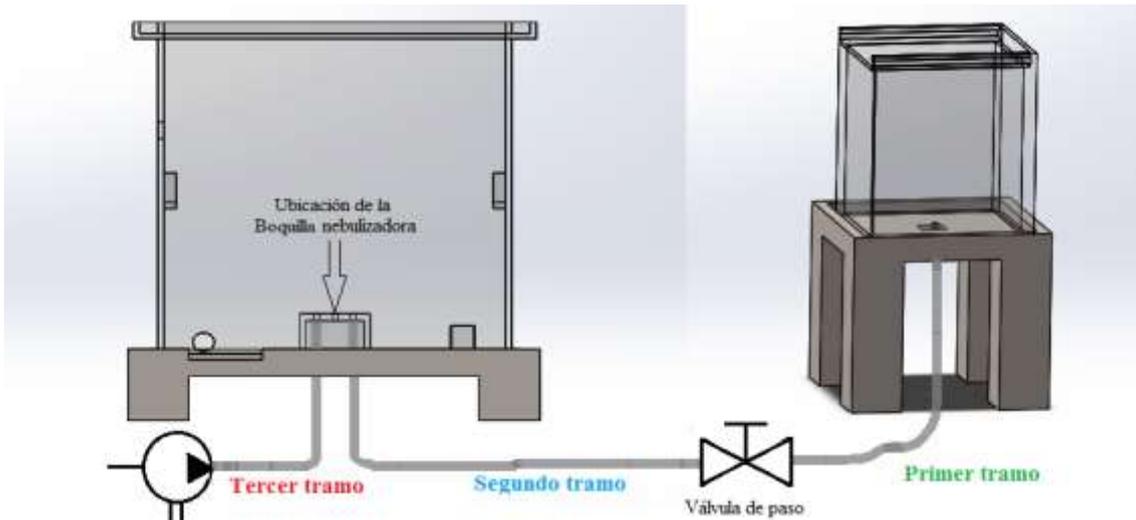


Figura 53. Conexión del 1º, 2º y 3º tramo de manguera. Fuente: Propia.

Montaje de los elementos de la cámara de niebla:

Primero se instala el dispositivo que se encargará de calentar el agua situada en la base de la cámara y así generar el vapor de agua indispensable para nuestro ensayo. Dicho dispositivo consta de una resistencia unida a un termostato (figura 10). El conjunto resistencia-termostato se montará en la cámara mediante una rosca. Las dimensiones y características del dispositivo y la rosca vienen reflejadas en el capítulo II Memoria.



Figura 54. Resistencia de calefacción y bulbo conectados. Fuente: Areashop.com

Antes de enroscar la resistencia hay que añadir una junta torica en la ranura diseñada al final de la rosca externa del elemento para asegurar la estanqueidad del fluido (figura 11).

Diseño de una cámara de niebla salina...

La junta debe ser de un diámetro apropiado de manera que quede sujeta y sin holguras en la ranura diseñada.

El dispositivo resistencia-termostato lleva conectado un regulador de temperatura que se coloca en el exterior de la cámara de niebla y en un sitio visible para poder controlar y modificar la temperatura a emplear en la resistencia de calefacción. Además el regulado lleva conectado un cable de alimentación que debemos enchufar a la corriente para activar el dispositivo.

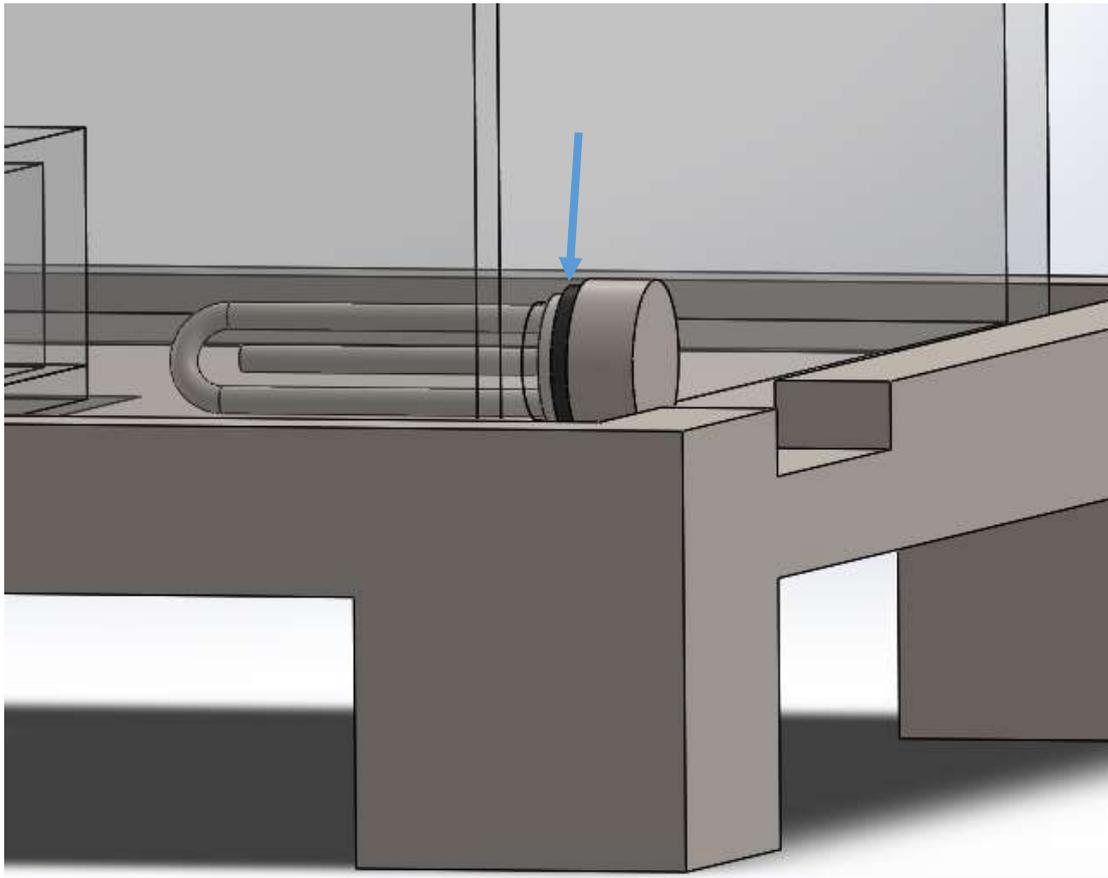


Figura 55. Ensamble del sistema resistencia y termostato mediante rosca a la cámara. Fuente: Propia

Para finalizar con las uniones roscadas se instala el termómetro de vigilancia, que se ubica en el orificio con rosca interna de la pared de la cámara de niebla (depósito principal), encima de los soportes de los porta-probetas (figura 12). Se coloca en esta posición para

medir la temperatura que se está alcanzando en las muestras de ensayo. Las características del termómetro y su rosca se describe en el capítulo II Memoria.

El montaje del termómetro es sencillo, hay que instalar la junta tórica en la ranura diseñada y enroscar el termómetro en su respectivo agujero con las referencias de las temperaturas al derecho.

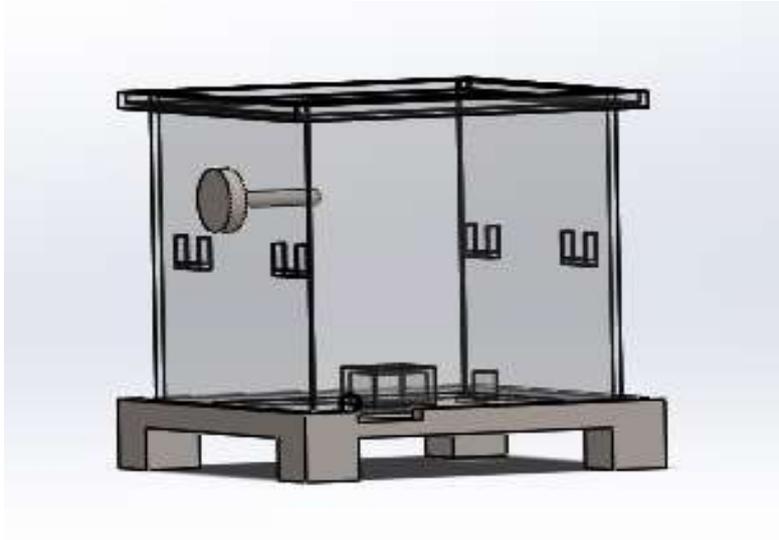


Figura 56. Ensamble del termómetro de vigilancia mediante rosca. Fuente: Propia

Una vez tenemos la parte más compleja del montaje instalada, es necesario realizar unas operaciones de verificación para poder detectar los posibles fallos.

Primero se verifica que las uniones de las mangueras con las conexiones salientes no pierden líquido. Para ello, se realiza una prueba de estanqueidad en el depósito de solución salina y en la cámara de niebla (depósito principal).

Se llena de agua el depósito de solución salina, prestando atención a las uniones y el conducto que canalizaría la solución salina desde el depósito de solución hasta la válvula de paso que correspondería al primer tramo de manguera. Si no detectamos ninguna fuga tramo de la manguera ni en la unión de esta. Se sigue adelante con el plan de verificación.

A continuación se llena la cámara de niebla (depósito principal) hasta un nivel de agua que sobrepase la resistencia y no precipite por el sumidero 1, con tapón en el sumidero 2 para comprobar que no se pierde líquido por el orificio donde se ha instalado la resistencia de calefacción.

Luego se añade un poco más y se destapa el sumidero 2 para comprobar si hay fugas en las uniones instaladas en los sumideros y su manguera correspondiente.

Después de realizar estas operaciones hay que vaciar la cámara de niebla por completo para seguir con la segunda parte del montaje.

Se coloca el tubo para la corrección y distribución de la aspersion (figura 13), los dos porta-probetas (figura 14) con el ángulo que queramos utilizar (65°, 70° y 75°) en los soportes correspondientes y por último el pluviómetro (figura 15) que situaremos en la base de la cámara, más concretamente en una esquina para no molestar en el ensayo.

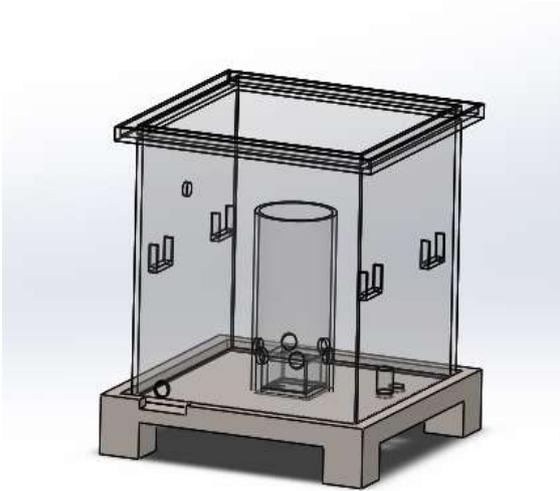


Figura 58. Ensamble tubo de corrección

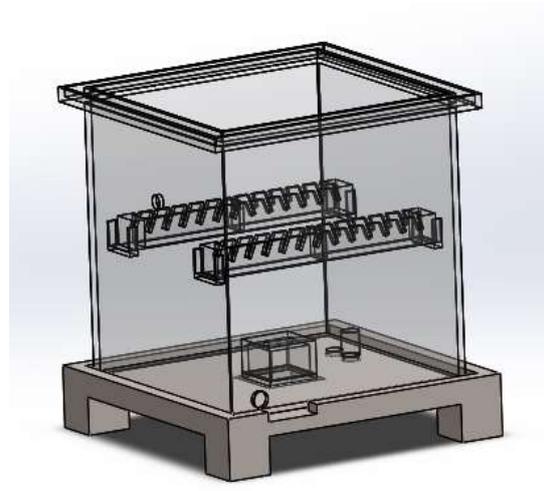


Figura 57. Ensamble de dos Porta-probetas en los soportes diseñados. Fuente: Propia

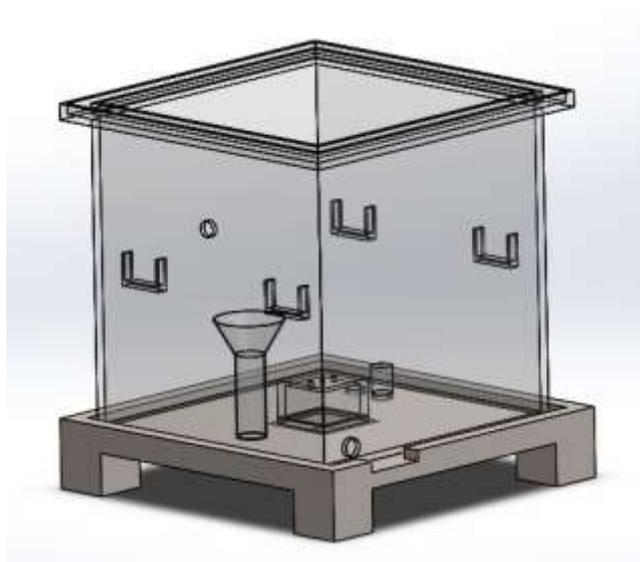


Figura 59. Ensamble del pluviómetro con la base de la cámara de niebla salina. Fuente: Propia

Finalmente montamos la tapa correspondiente a la cámara de niebla salina (figura 15) y la tapa del depósito de solución salina (figura 16). Con la incorporación de las cubiertas, el montaje de la cámara de niebla salina se da por terminado.

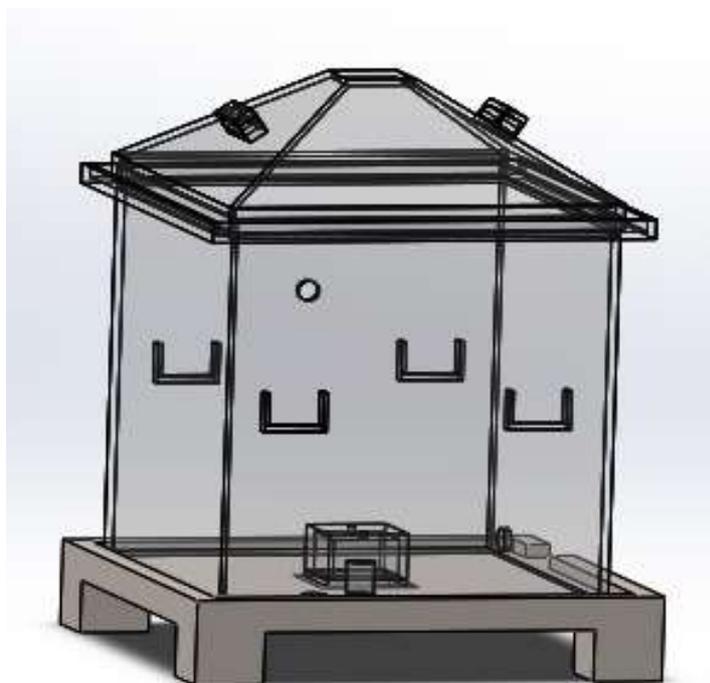


Figura 60. Ensamble de la cubierta de la cámara. Fuente: Propia.

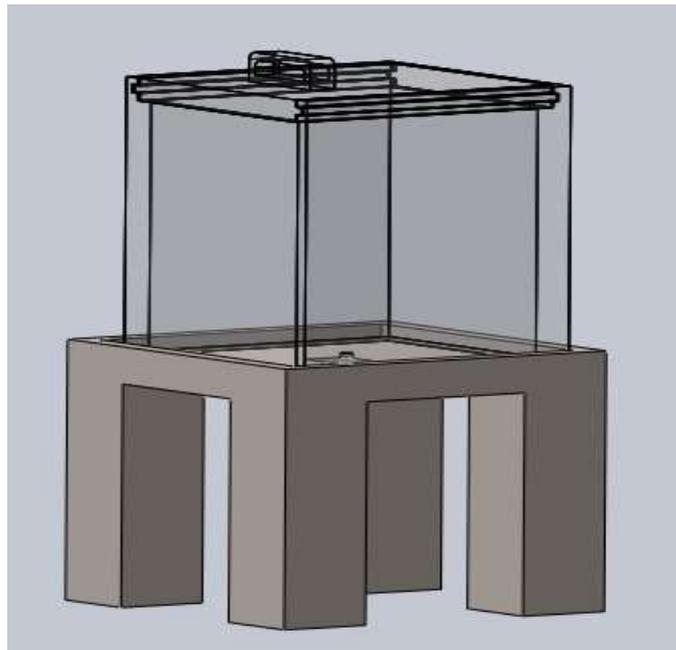
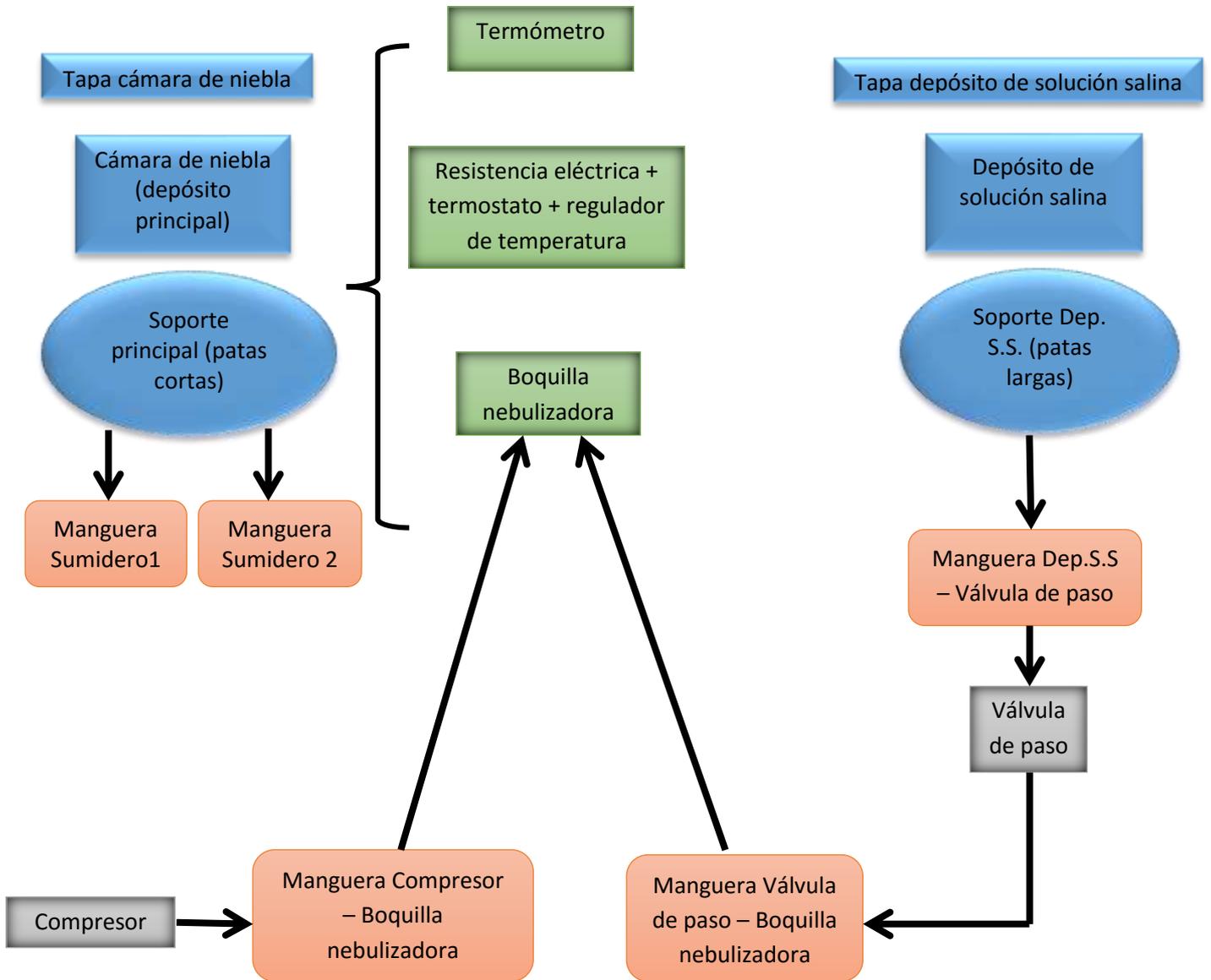


Figura 61. Ensamble de la cubierta del depósito Fuente: Propia.

Se muestra un breve esquema para complementar el montaje de la cámara de niebla salina:

Montaje de la cámara de niebla salina



■ Elementos de la cámara localizados en el interior de la cámara de niebla (depósito principal)

■ Conexiones con manguera.

■ Elementos localizados fuera de la cámara de niebla salina.

● Los dos subconjuntos que forman el sistema “Cámara de niebla salina”

Ahora se comienza con la segunda fase de verificaciones. Con el sistema montado por completo se realiza las últimas verificaciones o puesta a punto, para ello se sincroniza “una prueba de ensayo”

Se debe rellenar el depósito de la solución que queramos que llueva o nebuliza para incidir en las supuestas muestras de ensayo, se rellena la base de la cámara con agua destilada a una altura que supere la resistencia y pueda hacer su función de calentar el agua hasta la temperatura establecida por la norma de ensayo, se rellena la ranura de la tapa de la cámara de niebla para que se produzca la estanqueidad en toda la cámara.

A continuación conectamos a una fuente de alimentación el compresor y la resistencia eléctrica. También abrimos la válvula de paso regulando la cantidad de agua que queramos nebulizar.

Esperamos a que se genere la niebla y se nebulice el agua proveniente del depósito de solución salina.

Acto seguido se observa que se cumple lo siguiente:

La tapa reparte la lluvia que incide sobre ella uniformemente y genera una estanqueidad adecuada el interior de la cámara. No se producen pérdidas de fluido a la hora de generar la lluvia ni en la parte superior ni inferior de la cámara de niebla. Las conexiones de las mangueras de aire y solución salina con la boquilla nebulizadora son correctas. La conexión del extremo del segundo tramo con la válvula de paso y la conexión del tercer tramo con el compresor son correctas. Y por último, el compresor no suelta aceite al interior de la cámara.

Una vez hecho el plan de verificaciones y haberlas superado correctamente. Podríamos realizar el primer ensayo. A modo de reseña, a la hora de realizar el ensayo real, se colocarán las muestras que se quieran estudiar en el porta-probetas y se rellenará el depósito de solución con el fluido característico del ensayo.

5.3.3.6 Mantenimiento

Según la norma, es recomendable, limpiar la cámara de niebla cada vez que se hace un ensayo. Se vacían todo los elementos que hay en su interior menos los que están fijos, y se procede a quitar los restos de óxido de las muestras de ensayo que hayan quedado adheridas en el interior de la cámara con ayuda de un chorro de agua y un trapo suave empapado con una solución de agua jabonosa.

Es importante limpiar los porta-probetas para no contaminar las muestras de un ensayo al otro. Al disponer de varios repuestos de porta-probetas se pueden usar otros mientras se limpian los que han sido usados.

Se debe cambiar a agua limpia el fondo de la cámara de niebla siempre que se termine un ensayo para no estropear la resistencia de calefacción y limpiar el depósito de solución salina con agua destilada cuando se cambie la solución a nebulizar.

Otras medidas de mantenimiento adecuadas para mantener la cámara de niebla en buen estado. Son aquellas que se realizan cada tres o cuatro ensayos:

Se desmontan los elementos fijos de la cámara, sobretodo la boquilla nebulizadora y la resistencia de calefacción para limpiar la cámara exhaustivamente y evitar posibles incrustaciones no visibles.

La boquilla nebulizadora se debe desinstalar y sacar de la cámara para limpiarla, ya que al producir la lluvia se arrastra partículas de óxido de las muestras y pueden caer en el interior del orificio por donde sale la lluvia.

Para descontaminar el sistema de nebulización se introduce en agua con un disolvente decapante, luego se aclara con agua destilada y por último se seca con acetona para volver a montarla en la cámara de niebla.

La resistencia de calefacción se desmonta para sustituir la junta tórica si fuera necesario y eliminar con un cepillo fino las incrustaciones de óxido que puedan quedar entre la resistencia y el termostato previamente hay que desconectar el dispositivo del regulador de temperatura para una mejor manejabilidad a la hora de limpiar.

Finalmente se cambiaran las mangueras si fueran necesarios o si se detectara alguna fuga.

ULL

Universidad
de La Laguna

Escuela Superior de
Ingeniería y Tecnología

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y
TECNOLOGÍA**

PRESUPUESTO

**Diseño de una cámara de niebla
salina para ensayos de corrosión.**

POR

**Adrián Lorenzo Padrón Padilla
Leandro Pérez Cedrés**

La Laguna, MARZO DE 2016

6.1 Elementos de unión, fijación y conducto

En la tabla 1 hemos establecido un listado de los elementos de unión y fijación utilizados en la fabricación de la cámara de niebla salina. En dicha tabla se puede apreciar el elemento, unidad, características, precio de la unidad y precio total. Los precios han sido suministrado por diferentes empresas de las localidades de San Cristóbal de La Laguna y Santa Cruz de Tenerife, y de tiendas-empresas online de España.

Tabla 8. Presupuesto de elementos de unión, fijación y conducto

Elemento	Unidades	Características	Precio Unidad (€)	Precio total (€)
Junta de goma toroidal para perno en la boquilla pulverizadora [20]	2	D.I: 7 mm; S: 1 mm Material: Cloropreno	0,87	1,74
Junta de goma toroidal para el conjunto resistencia-termostato [20]	1	D.I: 35 mm; S: 1,5 mm Material: Cloropreno	0,87	0,87
Junta de goma toroidal para el termómetro de vigilancia [20]	1	D.I: 36 mm; S: 1,5 mm Material: Cloropreno	0,93	0,93
Abrazadera de acero inoxidable [21]	8	Torro vis sin fin Material: Acero Inoxidable AIS316	4,75	19
Manguera Cristal PVC alimentario [22]	1	D.E: 10 mm; L: 1,50 m	1,40	1,40
Manguera Troy LD [23]	3	D.E: 40 mm; L: 0,50 m	3,19	9,58
Válvula de paso [24]	1	D de conexión: 10 mm	5,40	5,40

*Cabe destacar que las juntas las hemos escogido de un material llamado cloropreno [C₄H₅Cl], debida a que este material tiene una buena resistencia a fluidos ácidos y corrosivos.

El precio total de los elementos de unión, fijación y conducciones aplicando un IGIC del 7% → 40,65 €

6.2 Componentes principales de la cámara.

En la siguiente tabla se muestra el coste de cada una de las piezas que componen la cámara de niebla. Para elaborar el presupuesto de la fabricación de las piezas de metacrilato se ha recurrido a la empresa *Gráficas Comenge*, mientras que para la elaboración del presupuesto de la fabricación de los soportes de acero se enviaron los planos a *Cercasa*.

Tras una extensa búsqueda de empresas en Tenerife, *Gráficas Comenge* fue escogida para fabricar la cámara por la variedad de herramientas para construir la cámara, además de la variedad aplicaciones que puede proporcionarle a la cámara y el metacrilato respecto al resto de empresas. También se encuentra bien situada en la zona centro de S/C de Tenerife y el precio es semejante al del resto de empresas. Por otra parte, *Cercasa* ha sido escogida para la fabricación de los soportes primeramente porque hay muy pocas empresas que trabajen con acero AISI 316 y ofrezcan una gran variedad de aplicaciones con este material.

El coste del trabajo de fabricación, del material y mecanizado del metacrilato y del acero inoxidable está incluido en el precio. El valor del precio unitario nos lo proporciona la empresa encargada de fabricar cada una de las piezas.

Tabla 9. Presupuesto de los componentes principales de la cámara.

Elemento	Unidad	Precio Unitario	Precio NETO	IGIC	Precio total
Cámara de metacrilato	1	267,70	267,70	7%	286,439
Soporte Cámara	1	535	535	7%	572,45
Depósito de solución salina	1	115,30	115,30	7%	123,371
Soporte del depósito de solución salina	1	260	260	7%	278,2
Tubo para corrección y humidificación de las aspersión	1	134,50	134,50	7%	143,915
Tapadera/ cubierta de metacrilato (4 aguas)	1	27,90	27,90	7%	29,853
Tapadera/ cubierta depósito solución salina	1	45,80	45,80	7%	49,006
Porta- probetas 60°	2	36,10	72,20	7%	77,254
Porta- probetas 65°	2	36,10	72,20	7%	77,254
Porta- probetas 70°	2	36,10	72,20	7%	77,254
Tapón del sumidero	1	3	3	7%	3,21
Pluviómetro	1	5,30	5,30	7%	5,671
Boquilla atomizadora [25]	1	295,55	295,55	7%	316,239
Compresor [26]	1	69,65	69,65	7%	74,846
Termostato de regulación y resistencia de calefacción [27]	1	193	193	7%	206,51

El precio total de los componentes principales de la cámara con el IGIC incluido es de →
2321,47 €

6.3 Coste final

En la tabla 3 se muestra el precio total inicial de la cámara de niebla salina.

Tabla 10. Presupuesto total de la cámara de niebla salina.

Partida	Coste (€)
Elementos de fijación unión y conductos	40,65
Componentes principales	2321,47
Total (€)	2362,12

6.4 Presupuestos

En el documento Anexo se adjuntan alguno de los presupuestos oficiales facilitados por las casas comerciales. Más concretamente el presupuesto de Cerrajería Cercasa S.L. para los soportes de acero inoxidable y el de Gráficas Comenge para todo el mecanizado del metacrilato.

6.5 Anexo. Catálogos y facturas.

-Catálogo de juntas tóricas. Leroy Merlin.

http://www.leroymerlin.es/productos/fontaneria/alimentacion_de_agua/juntas.html [20]

-Catálogo abrazaderas. Bonnet. Suministros y maquinarias SL.

<http://www.bonnet.es/Productos/Inoxidables/Abrazaderas.aspx> [21]

-Catálogo mangueras de PVC. Leroy Merlin.

<http://www.leroymerlin.es/productos/jardin/riego/mangueras.html> [22]

-Catálogo manguera toyd LD. Coplasva SL (Tienda online).

<http://www.coplasva.com/productos/agua/manguera-agua-troy-ld.pdf> [23]

-Catálogo válvulas de paso- Estanques.eu (tienda online).

<http://www.estanques.eu/valvulas.html> [24]

-Boquilla nebulizadora. Grupo Álava ingenieros.

<http://www.alava-ing.es/ingenieros/productos/sistemas-para-ensayos/ensayos-ambientales/ensayos-climaticos/camaras-niebla-salina/> [25]

-Catálogo de compresores. Leroy Merlin.

http://www.leroymerlin.es/productos/herramientas/maquinaria_de_taller/compresores_de_aire.html [26]

- Termostato de regulación y resistencia de calefacción

www.Fondear.com [27]

A continuación se muestran los presupuestos que nos proporcionan las empresas *Gráficas Comenge* y *Cercasa*.

Santa Cruz de Tenerife,
a 4 de JULIO 2015

A la atención de Sr.: ADRIÁN LORENZO PADRÓN PADILLA

A CONTINUACIÓN LE ADJUNTAMOS EL PRESUPUESTO QUE NOS HA SOLICITADO:

ESTE PRESUPUESTO ESTÁ SACADO ENVASE A LAS PROPORCIONES QUE PODEMOS FABRICAR POR TAMAÑO DE LA MÁQUINA (70 X 40 cm)

PLANO CÁMARA

PIEZA DE METACRILATO TRANSPARENTE DE 5 mm. DE GROSOR, ENSAMBLADAS SEGÚN PLANO

1 UNIDAD267,70 €

PLANO PORTA-PROBETAS 65°

PIEZA DE METACRILATO TRANSPARENTE DE 5 mm. DE GROSOR, ENSAMBLADAS SEGÚN PLANO. (2 UNIDADES DE CADA MODELO, CON DIFERENTE ÁNGULO)

6 UNIDADES36,10 € UND.

PLANO TAPA DEFINITIVA

PIEZA DE METACRILATO TRANSPARENTE DE 5 mm. DE GROSOR, ENSAMBLADAS SEGÚN PLANO

1 UNIDAD27,90 €

PLANO TAPA DEPÓSITO DE SOLUCIÓN

PIEZA DE METACRILATO TRANSPARENTE DE 5 mm. DE GROSOR, ENSAMBLADAS SEGÚN PLANO

1 UNIDAD45,80 €

NOTA: ESTE PRESUPUESTO ES PARA ESTAS CANTIDADES EN CASO DE OTRAS CANTIDADES SOLICITAR NUEVO PRESUPUESTO

EL CLIENTE ENVÍA ARCHIVO TOTALMENTE TERMINADO PARA SU REALIZACIÓN, DE LO CONTRARIO, ESTE APARTADO SE PRESUPUESTARÁ A PARTE.

Forma de pago: 50 % por adelantado y el resto a la entrega

Tiempo de realización:

El I.G.I.C. no está incluido (7%).

Este presupuesto tiene una validez de 30 días.

Esperando que este presupuesto sea de su agrado, le saluda atentamente.

SIGUE EN PÁGINA 2

Santa Cruz de Tenerife,
a 4 de JULIO 2015

A la atención de Sr.: ADRIÁN LORENZO PADRÓN PADILLA

A CONTINUACIÓN LE ADJUNTAMOS EL PRESUPUESTO QUE NOS HA SOLICITADO:

PLANO TUBO DE ESPERSIÓN

METACRILATO TUBULAR DE 2 mm. DE GROSOR, 200 mm. DE DIÁMETRO EXTERIOR,
194 mm. DE DIÁMETRO INTERIOR, TAMAÑO POR DEFECTO.

1 UNIDAD134,50€

RECOMENDAMOS REALIZARLA EN PVC PORQUE ES MÁS ECONOMICA

NOTA: ESTE PRESUPUESTO ES PARA ESTAS CANTIDADES EN CASO DE
OTRAS CANTIDADES SOLICITAR NUEVO PRESUPUESTO

**EL CLIENTE ENVÍA ARCHIVO TOTALMENTE TERMINADO PARA SU REALIZACIÓN, DE
LO CONTRARIO, ESTE APARTADO SE PRESUPUESTARÁ A PARTE.**

Forma de pago: 50 % por adelantado y el resto a la entrega

Tiempo de realización:

El I.G.I.C. no está incluido (7%).

Este presupuesto tiene una validez de 30 días.

Esperando que este presupuesto sea de su agrado, le saluda atentamente.

