



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE
ENVEJECIMIENTO ACELERADO PARA ENSAYOS DE
CORROSIÓN**

EN PINTURAS, RECUBRIMIENTOS Y OTROS MATERIALES"

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO PROYECTO TÉCNICO

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTORES: CABEZAS HINOJOSA DANIELA DEL ROCÍO

MEJÍA BURGOS ENRIQUE DAVID

TUTORA: ING. MABEL MARIELA PARADA RIVERA

Riobamba - Ecuador

2018

2018, Daniela del Rocío Cabezas Hinojosa, Enrique David Mejía Burgos

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación: Tipo Proyecto Técnico “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO PARA ENSAYOS DE CORROSIÓN EN PINTURAS, RECUBRIMIENTOS Y OTROS MATERIALES”, de responsabilidad de los señores DANIELA DEL ROCÍO CABEZAS HINOJOSA y ENRIQUE DAVID MEJÍA BURGOS, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Mabel Mariela Parada Rivera

DIRECTORA DE TRABAJO

DE TITULACIÓN

Ing. José Omar Cabrera Escobar

COLABORADOR EL TRABAJO

DE TITULACIÓN

Nosotros, **DANIELA DEL ROCÍO CABEZAS HINOJOSA Y ENRIQUE DAVID MEJÍA BURGOS** somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Daniela del Rocío Cabezas Hinojosa

Enrique David Mejía Burgos

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación está dedicado con mucho cariño a toda mi familia un aporte fundamental en mi educación y formación, principalmente a mis padres que me han apoyado incondicionalmente, tías, a mi novio que ha sido un importante papel en mi vida y en especial a mi ángel que está en el cielo mi abuelita que cuidó de mí siempre inculcándome siempre buenos valores para hacer de mí una persona que aporte a la sociedad, y por último a esos verdaderos amigos con los que compartí un largo camino de carrera en este sueño por culminar y alcanzar un sueño común.

Daniela

Este trabajo está dedicado a mi familia que me supo apoyar en cada aspecto de mi vida y darme las fuerzas para seguir adelante en especial a mis padres que supieron guiarme con educación, perseverancia y amor, a mi hermanita por darme su tiempo y alegría y a mi mejor amiga y novia porque siempre me apoyo tanto fuera como dentro de la carrera.

David

AGRADECIMIENTO

Quiero comenzar agradeciendo especialmente como primer punto a Dios y a mis padres que me brindaron su apoyo, confianza durante toda mi vida.

Daniela

Agradezco en primer lugar a Dios por haberme dado la oportunidad de culminar mi carrera, a mis padres por haberme dado el estudio y la oportunidad de ser alguien mejor en la vida

David

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT.....	XV
CAPITULO I.....	1
1. DIAGNOSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	1
1.3. LÍNEA BASE DEL PROYECTO	2
1.3.1. <i>Antecedentes del Proyecto.....</i>	2
1.3.2. <i>Importancia del proyecto</i>	3
1.3.3. <i>Aplicaciones de la Cámara de Envejecimiento Acelerado.....</i>	3
1.3.4. <i>Marco Conceptual.....</i>	4
1.3.4.1. Corrosión.....	4
1.3.4.2. Clasificación de corrosión.....	5
1.3.4.3. Intemperismo	7
1.3.4.4. Cámara de Envejecimiento Acelerado	7
1.3.4.5. Envejecimiento Artificial.....	8
1.3.4.6. Envejecimiento Artificial Acelerado.....	8
1.3.4.7. Tipos de Envejecimiento.....	9
1.3.4.8. Tipos de Cámaras de Envejecimiento	10
1.3.4.9. Generalidades de la Norma del proyecto	14
1.4. BENEFICIARIOS DIRECTOS E INDIRECTOS	17
CAPITULO II.	18
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	18
2.1. OBJETIVO GENERAL:	18
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	18
CAPITULO III.....	19
3. ESTUDIO TÉCNICO	19
3.1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	19
3.2. INGENIERÍA DEL PROYECTO.....	20
3.2.1. <i>Determinación de las variables de proceso.....</i>	20
3.2.2. <i>Selección de materiales para el diseño y construcción del equipo recopilando información según las normas NTE INEN 1032-84, ASTM G 154 – 06 y ASTM G 151- 00.....</i>	21
3.2.3. <i>Consideraciones de diseño</i>	23

3.2.3.1.	Soporte del equipo	26
3.2.3.2.	Cuerpo de la cámara	28
3.2.3.3.	Estructura del equipo	30
3.2.3.4.	Puerta de la cámara	32
3.2.3.5.	Chiflones de aspersión de agua	33
3.2.3.6.	Fuente de luz.....	36
3.2.3.7.	Termostato	39
3.2.3.8.	Aislante térmico	40
3.2.3.9.	Higrómetro.....	42
3.2.3.10.	Desagüe de agua	43
3.2.3.11.	Sistema de calefacción de la cámara	44
3.2.3.12.	Rejilla	45
3.2.3.13.	Dispositivos de Control	46
3.3.	PROCESO DE PRODUCCIÓN	48
3.3.1.	<i>Preparación de las muestras</i>	48
3.3.2.	<i>Procedimiento de manejo de la cámara de envejecimiento acelerado</i>	48
3.3.3.	<i>Validación de la cámara de envejecimiento acelerado</i>	51
3.3.3.1.	Cálculos y resultados de las prácticas para la validación	57
3.3.4.	<i>Análisis de resultados</i>	70
3.4.	REQUERIMIENTOS DE TECNOLOGÍA, EQUIPOS Y MAQUINARIA.....	71
3.5.	ANÁLISIS DE COSTO/BENEFICIO DEL PROYECTO.....	72
3.6.	CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO.....	73
	DISCUSION DE RESULTADOS.....	75
	CONCLUSIONES.....	78
	RECOMENDACIONES.....	79
	BIBLIOGRAFÍA.....	80
	ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Cámara para ensayos de envejecimiento debido al polvo.....	10
Figura 2-1 Cámaras criogénicas bajo tensión.....	11
Figura 3-1 Cámaras de corrosión cíclicas.....	11
Figura 4-1 Cámaras de envejecimiento solar.....	12
Figura 5-1 Cámara salina.....	13
Figura 6-1 Diagrama de choque térmico.....	13
Figura 7-1 Cámara de envejecimiento debido a lluvia.....	14
Figura 1-3 Vista lateral del soporte.....	27
Figura 2-3 Vista frontal del soporte.....	27
Figura 3-3 Vista 3D del soporte.....	28
Figura 4-3 Vista lateral del cuerpo de la cámara.....	28
Figura 5-3 Vista frontal del cuerpo de la cámara.....	29
Figura 6-3 Vista 3D del cuerpo de la cámara.....	29
Figura 7-3 Vista lateral de la cámara de envejecimiento acelerado.....	31
Figura 8-3 Vista frontal de la cámara de envejecimiento acelerado.....	31
Figura 9-3 Vista lateral 2 de la cámara de envejecimiento acelerado.....	32
Figura 10-3 Espectrografía de la lampara UV Changhong T8.....	37
Figura 11-3 Vista lateral de lámparas ultravioletas.....	38
Figura 12-3 Vista frontal de lámparas ultravioletas.....	38
Figura 13-3 Vista 3D de lámparas ultravioletas.....	38
Figura 14-3 Termohigrómetro digital.....	43
Figura 15-3 Dimensiones de la resistencia eléctrica.....	44
Figura 16-3 Vista superior de rejilla.....	45
Figura 17-3 Vista lateral de rejilla.....	46
Figura 18-3 Vista 3D de rejilla.....	46
Figura 19-3 Dispositivos de control.....	47
Figura 20-3 Encendido del equipo.....	49
Figura 21-3 Encendido de niquelina.....	50
Figura 22-3 Encendido de lámparas UV.....	50
Figura 23-3 Patrón fotográfico de grados de caleo.....	60

Figura 24-3 Patrón fotográfico para prueba de herrumbramiento.....	63
Figura 25-3 Escala de Herrumbramiento.....	64
Figura 26-3 Patrón fotográfico de grados de ampollamiento tamaño de ampolla No 2.....	66
Figura 27-3 Patrón fotográfico de grados de ampollamiento tamaño de ampolla No 4.....	67
Figura 28-3 Patrón fotográfico de grados de ampollamiento tamaño de ampolla No 6.....	67
Figura 29-3 Patrón fotográfico de grados de ampollamiento tamaño de ampolla No 8.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Normas para ensayos de diversos materiales.....	4
Tabla 2-1 Factores de ataque corrosivo.....	5
Tabla 1-3. Localización de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.....	19
Tabla 2-3. Coordenadas de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.....	20
Tabla 3-3 Variables de consideración para la construcción del equipo.....	21
Tabla 4 3. Componentes de la cámara de envejecimiento acelerado.....	22
Tabla 5-3. Propiedades físicas del hierro forjado.....	26
Tabla 6 3 Características del hierro forjado.....	27
Tabla 7-3 Características generales del acero inoxidable.....	30
Tabla 8-3 Características silicona ABRO SS SILICONA ANTIHONGOS 1200.....	33
Tabla 9-3 Características lana de vidrio.....	41
Tabla 10-3. Marca de pintaras.....	51
Tabla 11-3. Esmalte supremo pinturas unidas.....	51
Tabla 12-3. Tabla de normas técnicas y ciclos.....	53
Tabla 13-3. Datos experimentales validación de Cámara de Envejecimiento Acelerado.....	57
Tabla 14-3 Datos experimentales Determinación de Corrosión por Pérdida de peso.....	57
Tabla 15-3. Resultados de validación de la Cámara de Envejecimiento Acelerado.....	59
Tabla 16-3. Resultados de la Practica Determinación de Grado de corrosión.....	60
Tabla 17-3. Resultados grado de caleo y decoloración.....	62
Tabla 18-3. Resultados grado de herrumbramiento y ampollamiento.....	70
Tabla 19-3. Requerimientos para la construcción.....	71
Tabla 20-3. Requerimientos para el funcionamiento.....	71
Tabla 21-3. Presupuesto del proyecto.....	72

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1-3. Puerta de la cámara de envejecimiento acelerado	32
Fotografía 2-3 Aspensor de agua de la cámara de envejecimiento acelerado.....	36
Fotografía 3-3 Cajas contenedoras de lámparas UV	39
Fotografía 4-3. Lámparas ultravioletas en el equipo.....	39
Fotografía 5-3. Calibración del termostato	40
Fotografía 6-3: Lana de vidrio en las cajas de lámparas	41
Fotografía 7-3. Desagüe de la cámara.....	43
Fotografía 8-3. Resistencia eléctrica de la cámara.....	44
Fotografía 9-3- Relé dentro del panel de control	47
Fotografía 10-3. Validación del equipo con los estudiantes de 7mo semestre.....	52
Fotografía 11-3. Explicación del funcionamiento de la cámara.....	53
Fotografía 12-3. Diferencia antes y después de la práctica de la placa azul	54
Fotografía 13-3. Diferencia antes y después de la práctica de la placa blanca	54
Fotografía 14-3. Diferencia antes y después de la práctica de la placa amarilla.....	55
Fotografía 15-3: Diferencia de pesos antes y después de la práctica placa amarilla.....	56
Fotografía 16-3. Diferencia de pesos antes y después de la práctica placa azul	56
Fotografía 17-3. Diferencia de pesos antes y después de la práctica placa blanca	57
Fotografía 18-3. Prueba de Caleo de la placa amarilla	61
Fotografía 19-3. Prueba de Caleo de la placa azul.....	61
Fotografía 20-3. Prueba de Caleo de la placa blanca	62
Fotografía 21-3. Resultado de herrumbramiento de la placa amarilla	64
Fotografía 22-3. Resultado de herrumbramiento de la placa azul.....	65
Fotografía 23-3. Resultado de herrumbramiento de la placa blanca.....	65
Fotografía 24-3. Resultado del ampollamiento placa amarilla	68
Fotografía 25-3. Resultado del ampollamiento placa azul.....	69
Fotografía 26-3. Resultado del ampollamiento placa blanca	69

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A . NORMA NTE INEN 1032

ANEXO B NORMA ASTM G 154-06

ANEXO C NORMA ASTM G 151-00

ANEXO D ESQUEMA DE LA CÁMARA DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO

ANEXO E TECNICAS DE LABORATORIO

ANEXO F OFICIO DE ENTRAGA DE EQUIPO

RESUMEN

El objetivo fue el diseño y construcción de una cámara de envejecimiento acelerado para ensayos de corrosión en pinturas, recubrimientos y otros materiales. Debido a la inexistencia de un equipo en el laboratorio de Corrosión de la carrera de Ingeniería Química de la ESPOCH en el cual se realicen prácticas que permitan ampliar los conocimientos adquiridos en clase y logrando un mejor desempeño, siendo este equipo una herramienta didáctica y funcional para el aprendizaje. Para la realización del proyecto y el cumplimiento de los objetivos planteados se utilizó como base las normas NTE INEN 1032-84, ASTM G154 – 06 y G 151- 00, combinando varios criterios de cada normativa. El prototipo está construido de acero inoxidable AISI 304 y diferentes accesorios como lámparas UV, entre otros. En su interior consta de dos parrillas de acero inoxidable de manera que el ataque se produzca de forma homogénea en las muestras; para esto se realizó cálculos ingenieriles. Finalmente se concluyó con la validación del equipo a través de una práctica de laboratorio, en donde el prototipo permaneció estable durante el proceso, esto se realizó en colaboración con los alumnos de la carrera de Ingeniería Química de la asignatura de corrosión, en donde los especímenes permanecieron expuestos en el interior de la cámara durante 200 horas por especificaciones de las normas mencionadas, se trabajó con ciclos alternos de luz y oscuridad figurando tanto el día como la noche, logrando así obtener resultados visibles como la pérdida de peso de todas las placas expuestas, descoloramiento, y herrumbramiento de hasta 33 % de la pintura anticorrosiva, el cual es un indicativo de que se produjo corrosión, además de la presencia de óxido y la formación de ampollas en la superficie de los especímenes, se recomienda un tiempo mínimo de exposición de 200 horas.

Palabras clave: <INGENIERIA Y TECNOLOGIA QUIMICA>, <TECNOLOGIA DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES>, <CAMARA DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO>, <CORROSION>, <INTEMPERISMO>, <ACERO INOXIDABLE>, <PRUEBAS EN PINTURAS>, <ENVEJECIMIENTO DE METAL>

ABSTRACT

The objective was the design and manufacture of an accelerated aging wall cavity for corrosion tests in paints, coatings and other materials. Due to the lack of a team in the Corrosion laboratory of the career Ingeniería Química of ESPOCH, in which practices are carried out to increase the knowledge acquired in class and achieving a better performance, this equipment being a didactic and functional tool for learning process. The NTE INEN 1032-84, ASTM G154 - 06 and G 151-00 standards were used as a basis to develop the project and accomplish the objectives, combining several criteria of each regulation. The prototype is manufactured of AISI 304 with stainless steel and different accessories such as: UV lamps, among others. Inside it consists of two stainless steel grills in order to the change can occurs homogeneously in the samples; due to engineering calculations were applied.

Finally it was concluded with the validation of the equipment through a laboratory practice, where the prototype remained stable during the process, this was done in collaboration with career of Ingeniería Química, corrosion subject, where the specimens stayed exposed inside the wall cavity during 200 hours by specifications of the standards mentioned before, worked with alternating cycles of light and darkness, including both day and night, achieving visible results such as weight loss of all exposed plates, discoloration, and rust up to 33% of the non-corrosive paint, which is an indication that corrosion occurred, in addition to the presence of rust and the formation of blisters on the surface of the specimens, a minimum exposure time is recommended of 200 hours.

Keywords: <CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <TECHNOLOGY OF INDUSTRIAL PORCHES>, <ACCELERATED AGING WALL CAVITY>, <CORROSION>, <WEATHER>, <STAINLESS STEEL>, <TESTING IN PAINTINGS>, <AGING OF METAL>.

CAPITULO I

1. DIAGNOSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo es una institución ecuatoriana de Educación Superior, con sede central en la ciudad de Riobamba, Panamericana Sur km 1^{1/2}, tiene como una de sus carreras la Ingeniería Química en la que se forma profesionales aptos para un amplio campo laboral.

Dentro de las cátedras que se imparten en esta carrera, se encuentra la Asignatura de Corrosión, en la misma que se ha detectado un inconveniente al no contar con los equipos necesarios para llevar a la práctica los conocimientos teóricos dictados en clase; entre ellos, una cámara donde se realice ensayos de corrosión acelerada; con el propósito de evaluar las propiedades anticorrosivas de varios materiales no metálicos utilizados en las diferentes industrias, y así los estudiantes de esta asignatura puedan tener un enfoque más amplio y conocimientos más específicos sobre los efectos de diferentes condiciones climáticas sobre estos materiales de uso común.

1.2. Justificación del Proyecto

Mediante la realización de este proyecto se pretende equipar a la carrera de Ingeniería Química de una CAMARA DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO PARA ENSAYOS DE CORROSION EN PINTURAS, RECUBRIMIENTOS Y OTROS MATERIALES para la realización de pruebas de corrosión y degradación de diferentes tipos de materiales utilizados a nivel industrial.

Esto debido a la inexistencia de un equipo en el cual se realice prácticas en la cátedra de corrosión de materiales no metálicos, cuyos experimentos permitan ampliar los conocimientos adquiridos en clase y resuelva de mejor manera las dudas de los estudiantes con relación a la corrosión. Puesto que se debe tener en consideración que la corrosión no es produce únicamente en estructuras metálicas, sino también en materiales no metálicos como el plástico, y es muy frecuente ya que los factores del ambiente como el sol, el viento y el agua pueden convertirse en agentes corrosivos.

Este tipo de equipos es una herramienta didáctica y fundamental en el aprendizaje cuyos beneficiarios directos serán los estudiantes de la carrera, y la institución al aumentar sus equipos de laboratorio.

La justificación de este proyecto es que brindara un recurso muy importante para la carrera de Ingeniería Química de la ESPOCH, porque da la oportunidad al sector estudiantil de conocer y aplicar técnicas nuevas mediante la experimentación, ante los diferentes procesos de corrosión, y obtener una visión más amplia acerca de cómo afecta está a distintos no metales.

1.3. Línea base del proyecto

El proceso corrosivo ha sido un fenómeno que se ha venido produciendo a lo largo de los años reduciendo así la vida útil de piezas manufacturadas, de hecho, es muy común observar el deterioro, envejecimiento o destrucción de diferentes tipos de maquinarias, equipos, estructuras, etc.

Esta anomalía se produce de manera natural y espontánea, puesto que los materiales tratan de regresar a su estado de equilibrio químico, y muchas veces por efecto del medio que rodea los materiales (intemperie), por esta razón, es importante poder analizar la relación que tiene el medio ambiente con la corrosión de los materiales, y una manera de analizarlo es mediante un equipo de envejecimiento acelerado que simule condiciones de intemperie.

1.3.1. *Antecedentes del Proyecto*

Debido a que la corrosión se ha producido a lo largo del tiempo, ha surgido la necesidad de estudiar y buscar una solución para este fenómeno natural, ya que el daño que provoca es muy transcendental. La elección de los materiales de fabricación de los diferentes dispositivos, maquinarias o estructuras es una de las principales soluciones. Sin embargo, para saber que material resistirá mejor a los diferentes climas, es necesario realizar pruebas con distintos materiales en las mismas condiciones ambientales.

Es así como, en 1956 Q-Panel Co. diseña los primeros paneles de ensayo estándar para investigación en pinturas, y poder deducir que pintura resistirá de mejor manera a la corrosión, luego en 1965 Q-Lab; nuevo nombre que adquiere la empresa Q-Panel Co.; presenta la cámara de ensayos de condensación Cleveland proporcionando únicamente condensación sin luz UV (Turbi, 2015, p. 7-13). De la misma manera en 1967 CCI desarrolla cámara de simulación

ambiental y ensayos térmicos para el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Tres años después, es decir, en 1970 se presenta la cámara de envejecimiento acelerado QUV de Q-Lab que combina la condensación y la luz fluorescente ultravioleta (UV). Es la primera cámara climática que integra luz ultravioleta para la simulación de la radiación solar (CCI, 2016).

En 1977 se publica la primera especificación de ASTM que hace referencia a la cámara QUV y en 1996 se publica la norma ASTM G-53 que sugiere los parámetros para el desarrollo de pruebas, así como para la construcción de cámaras de envejecimiento acelerado. Finalmente, en el año 2000 se publica la norma ASTM G-151 para el uso de fuentes de luz en equipos de envejecimiento acelerado y como modificación de la norma ASTM G-53 (Grossman, 2018).

1.3.2. *Importancia del proyecto*

La introducción de la Cámara de envejecimiento acelerado en el laboratorio de corrosión en la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, ayudará a los estudiantes de Ingeniería Química y a los demás estudiantes de la facultad, a relacionarse de mejor manera con la teoría aprendida en clase mediante pruebas experimentales, ya que se utilizará para la determinación de los materiales resistentes a la corrosión producido por el intemperie, o corrosión natural, en primer lugar de pinturas anticorrosivas, y realizando un simple cambio del tipo de lámpara fluorescente UV, se puede identificar otros tipos de materiales, ya que el equipo construido puede ser modificado fácilmente, cumpliendo la norma general de equipos de pruebas de aceleramiento aclarado ASTM G154-06.

1.3.3. *Aplicaciones de la Cámara de Envejecimiento Acelerado*

La aplicación de la cámara de envejecimiento acelerado es muy amplia, principalmente está orientada a la determinación de la corrosión de pinturas e identificación de pinturas anticorrosivas, sin embargo, el equipo se encuentra diseñado para ser adaptado a diferentes tipos de materiales y recubrimientos, simplemente es necesario regular la temperatura de operación y cambiar el tubo fluorescente UV, pues existen varios tipos de lámparas de UV disponibles para la cámara y cada tipo de lámpara difiere en cuanto a la cantidad total de energía UV emitida y en el espectro de longitud de onda. Por lo tanto, aunque por el momento cumpla con la norma NTE INEN 1032: Pinturas anticorrosivas. Ensayo de resistencia al intemperismo acelerado. Es capaz de, mediante estos cambios llegar a cumplir normas ASTM como lo son:

Tabla 1-1 Normas para ensayos de diversos materiales

Material	Norma
Recubrimientos	ASTM D3794 ASTM D4587
Plásticos	ASTM D4329 ASTM D4674 ASTM D5208 ASTM D6662
Adhesivos	ASTM C1184 ASTM C1442 ASTM D904 ASTM D5215
Techos	ASTM D4799 ASTM D4811 ASTM D3105
Textiles	AATCC TM 186

Fuente: Cámara de envejecimiento acelerado QUV (www.q-lab.com)

Realizado por: Cabezas Daniela, Mejía Enrique, 2018

1.3.4. Marco Conceptual

1.3.4.1. Corrosión

La corrosión puede definirse como un fenómeno natural, que sufre un material por la necesidad de llegar a su estado de equilibrio estable. Según José González (1989), en su libro Control de la corrosión: estudio y medida por técnicas electroquímicas, define a la corrosión de tres maneras:

“a) destrucción o deterioración de un material a casusa de su reacción con el medio ambiente;

b) destrucción de los materiales por medios cualesquiera, excepto mecánicos;

c) proceso inverso de la metalurgia extractiva, en virtud del cual los materiales metálicos tienden a volver al estado combinado, en el que se encuentran en la naturaleza, etc.” (p. 1).

Como se puede apreciar en las definiciones, simplemente el literal c se refiere a la corrosión como un fenómeno exclusivo de los metales; sin embargo, los literales a y b envuelven no solo a los metales, sino también a todo sólido. Teoría que será afirmada, de la misma manera, por Fontana (1986), el cual describe “Algunos insisten en que la definición debe restringirse a los metales, pero a menudo los ingenieros de corrosión deben considerar tanto los metales como los no metales para la solución de un problema dado” (p. 4).

Basándose en estas definiciones, se puede asegurar que la corrosión no es más que un proceso de degradación o deterioro de todo material ya sea metálico o no metálico hasta llegar a su estabilidad por reacción química o electroquímica con el medio que lo rodea, es decir atmosfera, agua, suelo, luz solar, etc.

1.3.4.2. Clasificación de corrosión

Según Francisco J. Pancorbo (2011) tiende a clasificar a los diferentes tipos de corrosión de acuerdo con: La naturaleza de la sustancia corrosiva, los mecanismos de corrosión y la apariencia del metal corroído. Cada uno desarrollándose en los siguientes criterios.

❖ Por la naturaleza de la sustancia corrosiva.

- **Corrosión húmeda o electroquímica:** Esta corrosión tiene lugar en metales y requiere de un líquido o humedad. Esta corrosión electroquímica se produce con medios de conductividad electroquímica, es decir cuando el material entra en contacto con disoluciones salinas, agua, incluso la humedad de la atmosfera.
- **Corrosión seca:** Se produce como una reacción directa cuando un material se encuentra expuesto a gases a elevadas temperaturas, por consecuencia no se encuentra presente un electrolito condensado. Por lo que su mecanismo resulta diferente al electroquímico, obteniendo como resultado de esta reacción la formación de óxidos.

Tabla 2-1 Factores de ataque corrosivo

Factores que definen las formas de ataque	Factores Metalúrgicos	Factores que definen las condiciones de empleo	Factores que dependen del tiempo
<ul style="list-style-type: none"> • Concentración del reactivo • Contenido en oxígeno • pH del medio • Adiciones de inhibidores • Temperatura • Presión 	<ul style="list-style-type: none"> • Composición de la aleación • Procedimiento de elaboración • Impurezas • Tratamientos térmicos y mecánicos • Adiciones protectoras 	<ul style="list-style-type: none"> • Estado de la superficie • Forma de las piezas • Solicitaciones mecánicas • Empleo de inhibidores • Características de las uniones 	<ul style="list-style-type: none"> • Envejecimiento • Tensiones mecánicas • Temperatura • Modificación de los revestimientos protectores.

Fuente: Félix Gómez. Manual Básico de corrosión para ingenieros

❖ **Mecanismo de corrosión:**

➤ **Corrosión Química:** Se puede hablar de este tipo de corrosión cuando un medio no iónico, entra en contacto con el metal; este medio no iónico puede tratarse de oxidación en el aire a alta temperatura o con el contacto de tetracloruro de carbono, entre otros.

➤ **Corrosión Electroquímica:** Es aquella que implica en su proceso de corrosión la participación de iones metálicos, involucrando un transporte simultáneo de electricidad a través de un electrolito.

➤ **Corrosión Precoz:** Es un tipo específico de corrosión que se produce “después de que un recubrimiento de pintura ha secado al tacto, dándose además simultáneamente las siguientes condiciones:

- a) Una delgada película de pintura (espesor < 40mm);
- b) Un sustrato a baja temperatura;
- c) Alta humedad ambiente. “(Pancorbo, 2011, p11)

➤ **Corrosión- Erosión:** Consiste básicamente en el desprendimiento de películas superficiales dejando un aspecto de pequeños hoyos lisos esto ocasiona un fluido con un régimen turbulento, ocasionando que se acelere su ataque al metal.

➤ **Corrosión Microbiológica o Corrosión inducida por microorganismos (CIM):** Es aquella que se da por el ataque directo de microorganismos a una pieza de metal o aleación utilizándolo como sustrato, se produce generalmente en medios donde existe una baja velocidad de flujo o agua estancada (Díaz, A; et al., 2007, p230).

❖ **La apariencia del metal corroído:**

➤ **Ataque generalizado o uniforme:** Se la define como la corrosión que se efectúa uniformemente en toda la superficie del material, los casos típicos de este tipo de corrosión son el empañado de estaño o en el hierro, conocida como herrumbre.

➤ **Ataque selectivo o localizado:** Llamada así ya que la corrosión se presente en una zona específica de la superficie del material, y se la puede apreciar por la aparición de perforaciones llamadas picaduras.

➤ **Corrosión atmosférica:** Es una corrosión de carácter electrolítico, producida por el contacto de los materiales a la humedad atmosférica, de la misma manera, el oxígeno del aire y ciertos contaminantes que se encuentran presentes en la atmosfera actúan fuertemente a favor de la corrosión.

➤ **Corrosión bajo tensión:** Se produce por un efecto combinado entre las tensiones internas del material con los ataques localizados por agrietamientos, provocando la anisotropía del material, y generando al mismo tiempo la acumulación de impurezas en las deformaciones y dislocaciones (Gómez, 2004, p 13).

1.3.4.3. Intemperismo

Se denomina como Intemperismo a los cambios que presenta un material, provocados por los efectos de la intemperie, es decir, la atmosfera, el sol, el agua, el viento, etc. Este fenómeno se ocasiona perenemente en todo nuestro alrededor, sin embargo, es un proceso tardo y sutil, sin embargo, no se debe ignorar, pues altera la estructura de los materiales tanto naturales, como producidos por el hombre (Royo, et al., 2010, p 33).

Cuando las condiciones climáticas del medio son áridas, se produce Intemperismo mecánico o físico, el cual fragmenta al material por la diferencia de temperatura que producen disgregación; mientras que, si las condiciones del ambiente son húmedas y calurosas, se producirá Intemperismo químico, en el cual el oxígeno se combina con los materiales para formar óxidos, acelerando la descomposición o corrosión (Carreto, et al., 2000, 100-102).

1.3.4.4. Cámara de Envejecimiento Acelerado

Se define una cámara de envejecimiento acelerado aquel dispositivo utilizado para ensayos de laboratorio el mismo que expone materiales ya sean de tipo metálico u otros sólidos a ciclos de radiación ultravioleta mediante la utilización de lámparas fluorescentes (UV) simulando efectos de luz solar, humedad, altas temperaturas (Hernández, 2010, p 20).

Al hablar de condiciones ambientales, no solo se refiere a climas naturales sino también a climas artificiales. Entre estos se puede destacar principalmente los siguientes:

“Altas o bajas humedades (condensaciones o situaciones de sequedad), Altas o bajas temperaturas (burn- in o ultra congelación), Corrosión salina por proximidad al mar, Corrosión atmosférica industrial o urbana (niebla ácida de diferente composición), Simulación abisal (altas

presiones), Atmósferas tóxicas y explosivas (gases controlados), Simulación solar (radiaciones ultravioletas mediante lámparas de xenón), Climas agresivos (granizo, nieve, lluvia torrencial)” (ESPINOSA, 2007, p 17).

1.3.4.5.Envejecimiento Artificial

Se conoce como el proceso que intenta provocar degeneración en un material mediante cargas artificiales. Para esto se emplean cámaras de simulación medioambiental, sistemas de prueba de vibraciones o de agentes atmosféricos. Se utiliza en trabajos de investigación, ya que es importante observar los cambios que se producen en sus propiedades.

A causa de que existen muchos materiales que deben ser puestos a prueba para la correcta selección de este en la función deseada, se deben realizar pruebas más rápidas y eficaces, ahorrando de esta manera tiempo y dinero, estas pruebas son llamadas envejecimiento artificial acelerado.

1.3.4.6.Envejecimiento Artificial Acelerado

Consiste en hacer que las propiedades de los materiales cambien más rápidamente con el tiempo mediante la aplicación de diferentes métodos, como puede ser aumentos de nivel de carga o exponiendo los materiales en cámaras que simulan ambientes peligrosos o sobre estimulantes, generando que estos envejezcan mucho antes que aquellos materiales no expuestos.

Los resultados de los ensayos en cámaras de envejecimiento artificial acelerado son utilizados para comparación entre los materiales expuestos en la cámara, con los expuestos normalmente a sus cargas regulares, por ejemplo, con el envejecimiento acelerado térmicamente, lo que se busca es, mediante la temperatura, ganar tiempo de exposición. De este modo, se proporciona suficiente energía de activación para las reacciones que no tienen lugar así en el terreno. Para este caso práctico, la base del ensayo para este sistema de agentes atmosféricos, se lo relaciona mediante una exposición del material de prueba a la intemperie (BINDER,2015).

1.3.4.7. Tipos de Envejecimiento

❖ Cargas Térmicas

La principal causa del envejecimiento de ciertos materiales y aleaciones son las elevadas temperaturas las mismas que pueden mantenerse constantes a lo largo de un periodo de tiempo o a la vez cambiar constantemente, esta influye de manera diferente de acuerdo con las propiedades y la composición del material. Las elevadas temperaturas traen consigo la aceleración en las cuales se producen reacciones químicas las mismas que son imposibles de suspender.

❖ Cargas climáticas

Es aquella corrosión en donde tienen una relación directa la temperatura a la que se expone el material junto con la humedad del aire, mientras más elevada es la temperatura el material puede absorber más cantidad de agua. Junto con la temperatura, otro factor que permite acelerar las reacciones químicas es la humedad el mismo que acelera el envejecimiento de cualquier material que se encuentre expuesto.

❖ Cargas Corrosivas y envejecimiento químico

Es el envejecimiento o corrosión que se produce en la superficie del material cuando este ha tenido contacto con un reactivo, la reacción que provoca el deterioro del material no puede darse mientras no exista una energía suficiente que active y permita que se dé.

❖ Cargas mecánicas

Este envejecimiento es el que provoca flexión o tensión de un material, sufriendo una deformación en su estructura mediante la aplicación de cargas mecánicas.

❖ Cargas Eléctricas

Se produce cuando se somete un material a un esfuerzo eléctrico utilizando electrodos de bloqueo, la vida útil del material disminuye drásticamente de acuerdo con el tiempo de exposición, tensión, y campo eléctrico al que se encuentre sujeto.

❖ Envejecimiento UV

Es el envejecimiento que se da como producto de la exposición de un material a la radiación solar o a su vez utilizando luz UV artificial como son lámparas fluorescentes para reproducir efectos dañinos simulados como el ataque del sol.

1.3.4.8. Tipos de Cámaras de Envejecimiento

❖ **Cámara para ensayos de envejecimiento debido al polvo:** Son cámaras utilizadas para ensayo de estanqueidad a polvo, la estanqueidad es una propiedad que consiste en calcular la capacidad que tiene una pieza para evitar que entren partículas externas al sólido, que se realiza sobre sistemas de alumbrado vial, componentes electrónicos o luminosa, entre otros, con el fin de evaluar la resistencia al polvo del material eléctrico y clasificar el grado de protección IP de los envases de los aparatos electrónicos. (El código IP de protección describe la clase de protección que ofrece un revestimiento o envase contra cuerpos sólidos extraños (DYCOMETAL, 2014).



Figura 1-1 Cámara para ensayos de envejecimiento debido al polvo.

Fuente: dycometal.com/catalogo/cp/

❖ **Cámaras criogénicas bajo tensión:** Este tipo de cámaras permite realizar ensayos criogénicos bajo tensión, es decir, genera temperaturas bajas extremas con la finalidad de determinar la carga de rotura de los materiales bajo condiciones térmicas extremas. Son también utilizadas para pruebas de envejecimiento controlado de botánica, química, biología, medicina, etc. El rango de temperatura a la que funciona va de 0 a -190 °C (CCI, 2011)



Figura 2-1 . Cámaras criogénicas bajo tensión
Fuente: CCI, catálogo criogenia bajo tensión

❖ **Cámaras de corrosión cíclicas:** También llamadas cámaras clima-salinas, imitan ambientes externos, ya que se expone las muestras en un ciclo repetitivo de condiciones climáticas distintas. Este tipo de cámaras proveen la mejor simulación de corrosión natural en pruebas de laboratorio, de hecho, “Investigaciones actuales indican que los resultados obtenidos de las pruebas de corrosión cíclica son similares en estructura resultante, morfología y velocidades de corrosión relativa a lo que ocurre al exterior” (Q-Lab,2013, p 2).

Pueden contar con un sistema de programación automática de ciclos, que permite secuencias climáticas específicas.



Figura 3-1. Cámaras de corrosión cíclicas.
Fuente: Q-Lab, Disponible en: <https://www.q-lab.com>

❖ **Cámaras de envejecimiento solar:** Se utilizan para ensayos de envejecimiento acelerado de materiales mediante la aplicación de luz ultravioleta, para determinación de la resistencia de los materiales a la radiación solar, puesto que las longitudes de onda que emiten las lámparas ultravioletas tienen la misma longitud de onda que la radiación que emite el sol. Dentro del

equipo se puede implementar también otros dispositivos para aumentar fenómenos atmosféricos, ya sea ventilación o lluvia, generando que la cámara puede simular distintos tipos de climas y ambientes.

Ya que la radiación solar afecta a todos los materiales que se encuentran en la intemperie, la aplicación de este tipo de cámaras es muy amplia, “tanto en investigación, como en control de calidad de plásticos, pinturas, textiles, artes gráficas, cables, ensayos de fotoestabilidad de productos farmacéuticos, cosmética, materiales de construcción, madera, composites, energía solar-fotovoltaica, etc.” (CCI, 2011).



Figura 4-1. Cámaras de envejecimiento solar.
Fuente: <http://www.cci-calidad.com>

❖ **Cámaras salinas:** Esta cámara está diseñada para realizar ensayos de envejecimiento artificial de ambientes corrosivos marítimos, el fundamento de este equipo es la introducción de niebla salina pulverizada (compuesta de una solución salina diluida en partes iguales con agua bidestilada, agua inyectable o solución dextrosa) a una cámara que contiene la muestra, mediante un atomizador.

La base del ensayo se radica en la medición del tiempo “transcurrido desde que se introdujo la pieza o artículo 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.” (Arias, 2007, p 660).



Figura 5-1. Cámara salina.
Fuente: <http://www.cci-calidad.com>

❖ **Cámaras de choque térmico:** Son equipos que realizan cambios bruscos de temperatura a las muestras con el objetivo de analizar el efecto que produce dicho cambio, es decir, las muestras pasan súbitamente de alta temperatura a muy bajas temperatura, y viceversa, o permanecer en temperaturas intermedias por largos períodos de tiempo. El criterio más importante que se analiza en esta cámara es la fatiga térmica de los materiales de prueba. Se aplica frecuentemente para investigaciones en la rama militar, aeronáutica y automotriz.

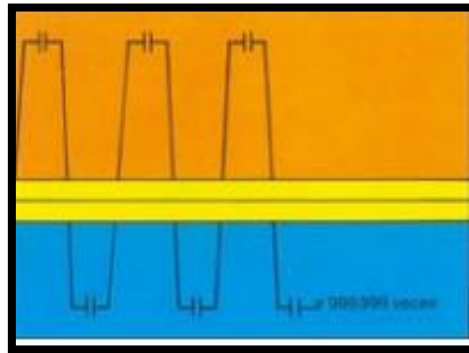


Figura 6-1. Diagrama de choque térmico
Fuente: Espinosa, 2007

❖ **Cámaras de envejecimiento debido a lluvia:** Se utilizan para la simulación de climas con precipitación, es decir, lluvia, llovizna; así como también simula el rocío atmosférico. La finalidad del equipo es establecer las consecuencias que traen a ciertos materiales, se utilizan especialmente para aparatos eléctricos, luminarias, pinturas, entre otros, ya que sobre estos materiales la presencia del agua puede ser realmente crítica, por lo cual es necesario analizar dichos efectos.



Figura 7-1. Cámara de envejecimiento debido a lluvia.
Fuente: <http://www.cci-calidad.com>

1.3.4.9. Generalidades de la Norma del proyecto

La cámara de envejecimiento acelerado expuesta en este proyecto se basa principalmente en la norma NTE-INEN 1032. PINTURAS ANTICORROSIVAS. ENSAYO DE LA RESITENCIA AL INTEMPERISMO ACELERADO, pero también se basa en la norma general de cámaras para pruebas de envejecimiento acelerado con pruebas que utilizan la luz como recurso principal ASTM G151-00 Exposing Nonmetallic Materials in Accelerated Test Devices that Use Laboratory Light Sources en colaboración de la norma ASTM G154-06 Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials. Entre las generalidades más importantes de estas normas se encuentran las siguientes:

- El diseño de la cámara de prueba puede variar, pero debe construirse con un material resistente a la corrosión y además proporcionar medios para controlar la temperatura y la humedad relativa, además de la fuente radiante.
- Las lámparas por utilizar en el equipo pueden ser de arco-carbón o de radiación UV, las cuales para ser utilizadas dependerán del tipo de filtro que se emplee y del tipo de ciclo de exposición y del tipo de material de muestra (las lámparas más comunes son la UVA -340, UVB-313 y UVA-351)
- Utilizar lámparas diferentes en la cámara de prueba puede afectar significativamente los resultados.

- Los instrumentos de medición deben ser estandarizados y exactos, y deben ser calibrados periódicamente para asegurar efectos de repetitividad (termómetros, temporizadores, radiómetros, higrómetros, etc.)
- El informe de resultados deberá basarse en la norma NTE INEN 1032-84.
- Las muestras de prueba pueden estar expuestas a la humedad en forma de rocío de agua, condensación o humedad alta.
- El tiempo de exposición en cámara de envejecimiento acelerado dependerá del espécimen de prueba; en base a la norma NTE INEN 1032-84 para pinturas, mientras que para otros materiales dependerá del ciclo que se escoja referenciado en las normas ASTM G154 – 06 y ASTM G 151- 00 a la norma ISO 4892 que incluye temperaturas, radiación y humedad relativa.
- Para obtener los resultados más consistentes, se recomienda que los aparatos sin control de irradiación de retroalimentación funcionen en un entorno en el que la temperatura ambiente se mantenga entre 18 y 27 ° C.
- Para las muestras de pintura la norma NTE INEN 1032-84 indica que se utilicen dos placas por muestras, una para el ensayo y la otra como placa testigo, en las cuales se aplica la pintura.
- El material de muestra a utilizar debe ser acero; la forma, tamaño y grosor de las placas de muestra se encuentran debidamente especificadas en la norma NTE INEN 1032-84. Sin embargo, las normas ASTM G154 – 06 y ASTM G 151- 00, no especifican la interpretación de los resultados. Por lo que los resultados serán analizados con base a la norma ecuatoriana, comparando las muestras con las fallas presentadas en la determinación.
- El uso de este aparato está destinado a inducir cambios en la propiedad asociados con las condiciones de uso final, que incluyen los efectos de la porción UV de la luz solar, la humedad y el calor. Estas exposiciones pueden incluir un medio para introducir humedad en la muestra de prueba.

Las exposiciones no pretenden simular el deterioro causado por fenómenos meteorológicos localizados, como la contaminación atmosférica, los ataques biológicos y la exposición al agua salada.

Los resultados obtenidos de estas exposiciones aceleradas de laboratorio pueden considerarse como representativas a las exposiciones reales solo cuando se ha establecido el grado de correlación de rangos para los materiales específicos que se están probando y cuando el tipo de degradación es el mismo. La durabilidad relativa de los materiales en las condiciones reales de uso puede ser muy diferente en distintos lugares debido a las diferencias en la radiación UV, el tiempo de humedad, la humedad relativa, la temperatura, los contaminantes y otros factores.

Por lo tanto, incluso si los resultados de una prueba de exposición específica realizada de acuerdo con esta práctica resultan útiles para comparar la durabilidad relativa de los materiales expuestos en un entorno exterior particular, no se puede suponer que serán útiles para determinar la durabilidad relativa de la misma materiales para un ambiente diferente.

Nota: Las normas NTE INEN 1032-84, ASTM G154 – 06 y ASTM G 151- 00 se encuentran completas en el Anexo **A, B y C** respectivamente.

1.4. **Beneficiarios Directos e Indirectos**

- **Beneficiarios Directos**

Las personas beneficiarias de este proyecto serán exclusivamente los estudiantes de la carrera de Ingeniería Química de la ESPOCH.

- **Beneficiarios Indirectos**

Los beneficiarios indirectos con la aplicación de este proyecto serán los estudiantes de las diferentes carreras de la Facultad de Ciencias, docentes y grupos de investigación pertenecientes a la misma.

CAPITULO II.

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1. Objetivo General:

- Diseñar y Construir una Cámara de Envejecimiento Acelerado para ensayos de corrosión en pinturas, recubrimientos y otros materiales.

2.2. Objetivos Específicos:

- Determinar las variables de proceso para la construcción de la cámara de envejecimiento acelerado para ensayos de corrosión en pinturas, recubrimientos y otros materiales en base a la norma NTE INEN 1032-84, con ayuda de las normas ASTM G154 – 06 y ASTM G 151- 00
- Realizar los cálculos ingenieriles para el diseño y construcción de la cámara de envejecimiento acelerado.
- Seleccionar los materiales más adecuados teniendo en cuenta las propiedades que poseen según las normas NTE INEN 1032-84, ASTM G 154 – 06 y ASTM G 151- 00 para la fabricación del equipo.
- Estructurar un manual de procedimientos y técnicas para el uso y funcionamiento del equipo.
- Validar el equipo a través de ensayos de laboratorio en base a los nuevos parámetros.

CAPITULO III.

3. ESTUDIO TÉCNICO

3.1. Localización del Proyecto

El proyecto será implementado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en la Facultad de Ciencias, Carrera de Ingeniería Química la cual está ubicado específicamente en la Panamericana Sur km 1^{1/2}, en la ciudad de Riobamba – Ecuador.

Tabla 1-3. Localización de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Limites ESPOCH	<p>Al Norte, limita con el barrio 24 de mayo y la Avenida Canónigo Ramos.</p> <p>Al Sur, limita con la Avenida Pedro Vicente Maldonado y el Barrio de los Maestros.</p> <p>Al Este, limita con la Avenida 11 de noviembre.</p> <p>Al Oeste limita con la Avenida By Pass.</p>
Rango Altitudinal	2754 m.s.n.m
Clima	Temperatura Promedio 14°C

Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.

Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía 2018

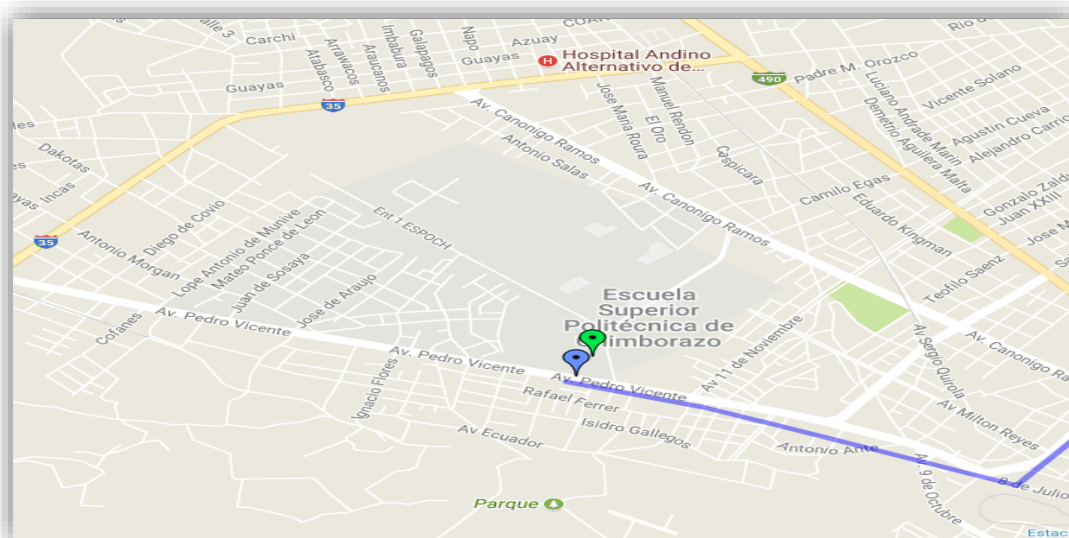


Tabla 2-3. Coordenadas de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

LATITUD	-1.656302
LONGITUD	-78.678487

Fuente: Google Maps

Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018.

3.2. Ingeniería del proyecto

3.2.1. *Determinación de las variables de proceso*

Para la construcción del equipo se determinaron las variables mediante una investigación exhaustiva bibliográfica, analizando cámaras de envejecimiento acelerado construidas por grandes empresas, así como prototipos realizados por estudiantes de varias instituciones a través del mundo; y considerando las normas bajo las cuales se rige este proyecto.

Mediante esta investigación bibliográfica se pudo obtener las principales variables a considerar para la construcción y el correcto funcionamiento de la cámara de envejecimiento acelerado, pues en todas las cámaras en las cuales emplean ciclos de corrosión ambientales, existen 3 parámetros fundamentales que se deben tomar en cuenta.

El primero de ellos es la Temperatura, el cual es un factor importante en la mayoría, si no es en todas las cámaras de envejecimiento acelerado, debido a que diferentes materiales puestos a pruebas envejecen a distintas velocidades, en relación directa con la temperatura; ya que, por lo general, el aumento de temperatura significa aceleración de las reacciones químicas, pues se alcanza prematuramente la energía de activación de la reacción. Por otro lado, a mayores temperaturas; se puede absorber más agua en la mezcla de gases de agua, y al mismo tiempo “se acelera la evaporación de la humedad depositada sobre el metal, descendiende la concentración de oxígeno y otros gases corrosivos disueltos en ella e incluso pueden producirse cambios en las propiedades protectoras de las capas de productos de corrosión” (Chico, B., et al., 2005, p 3).

El segundo criterio que tomar en cuenta como variable es la Humedad, es crucial en los efectos de corrosión atmosférica, ya que está demostrado que la humedad relativa (HR) forma una película acuosa extremadamente delgada, formando un electrolito en la superficie del metal. Por acción de esta capa se corroe la mayoría de los metales expuestos a la intemperie por un proceso catódico de reducción de oxígeno. Existe un determinado nivel de humedad relativa por debajo del cual no se produce la corrosión, pues con un porcentaje bajo de HR no es apreciable la

película del electrolito sobre el metal. Usualmente la corrosión de varios metales como el hierro no se produce con humedades relativas menores a 60-80%, pero por encima de este nivel de humedad se produce con más facilidad la corrosión.

Una atmósfera saturada, es decir con 99% de humedad relativa, aumentará la intensidad de corrosión; de la misma manera se debe tomar en cuenta el tiempo de humectación de la superficie metálica, ya que mientras más tiempo tenga el metal contacto con el electrolito, más afectado se verá el metal; por esta razón, en lugares con temperatura elevada se corroerá menos que en lugares con temperaturas relativamente bajas ya que la película de humedad se evaporará más rápido (Chico, B., et al., 2005, p 3).

El tercer y último criterio es la radiación UV, si bien el efecto de la radiación solar incide proporcionalmente con varios procesos de la naturaleza, el efecto de la corrosión no es la excepción, los lugares en los cuales la radiación UV del sol son más fuertes son donde se presenta mayor corrosión en sus materiales expuestos a la intemperie, y aunque una gran proporción del espectro ultravioleta emitido por la luz solar es absorbido por la atmósfera, una cantidad pequeña llega hasta el suelo terrestre con una longitud de onda corta, es decir entre 300 a 380 nm. Replicar esta longitud de onda con lámparas de luz artificial produce que la cámara de envejecimiento acelerado pueda replicar los efectos de la radiación solar. De los tres tipos de lámparas que producen radiación UV (UVA, UVB y UVC) la mejor de ellas para los estudios de corrosión es la UVA puesto que se asemeja mejor a la radiación del espectro solar a bajas longitudes de onda (Johnson & McIntyre, 1996, p 95).

Tabla 3-3 Variables de consideración para la construcción del equipo

Norma	Tiempo (horas)	CICLO RADIACION UV	Tiempo (horas)	CICLO OSCURIDAD	Radiación
ASTM D 4587-01	4	60°C, 100%HR	20	50°C, Condensación	300-380 nm
ASTM G 53-96	60-70°C, atm saturada humedad.	40-60°C, Condensación	300-380 nm
ASTM G 154	8	60°C	4	50°C, Condensación	300-380 nm

FUENTE: American Society for Testing and Materials.

Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía 2018

3.2.2. Selección de materiales para el diseño y construcción del equipo recopilando información según las normas NTE INEN 1032-84, ASTM G 154 – 06 y ASTM G 151- 00.

En este punto se describe cada uno de los materiales utilizados en la construcción del equipo, el mismo que cuenta con características, propiedades, tomando como referencia base las normas NTE INEN 1032-84, ASTM G 154 – 06 y ASTM G 151- 00.

De acuerdo con los datos que nos proporciona la Norma, se seleccionará los materiales más adecuados para soportar las condiciones óptimas en la experimentación de corrosión acelerada, con los que se va a construir este equipo.

El equipo que se va a diseñar será capaz de operar con la mínima asistencia humana durante el tiempo que se realice el ensayo y los materiales utilizados para la construcción de la cámara deben poseer una gran resistencia a la corrosión, por lo tanto, se tomará en mucha consideración la radiación emitida por las lámparas UV y su efecto en el material de prueba.

Tabla 4-3. Componentes de la cámara de envejecimiento acelerado

SISTEMA/COMPONENTE	FUNCIÓN
Soporte del equipo	Proporciona estabilidad al equipo el mismo que cuenta con cuatro patas en donde se distribuirá el peso de la cámara.
Cuerpo de la cámara	Parte en la cual se depositarán en su interior las placas de los materiales que van a hacer expuestos al envejecimiento.
Puerta de la cámara	Cuenta con un vidrio templado para visualizar el proceso que ocurre en el interior de la cámara, manteniendo además la temperatura dentro de la misma.
Chiflones de aspersión de agua	Tienen como función rociar agua a la placa de materiales simulando condiciones externas de humedad como es la lluvia.
Fuente de luz	Está compuesta por cuatro lámparas UV que irradia la muestra por completo.
Termocupla	Sensor de temperatura que nos arroja una lectura constante y puntual dentro de la cámara.
Cámara aisladora	Cámara de acero inoxidable ubicada en el interior del cuerpo de la cámara.
Higrómetro	Sensor empleado para dar una lectura del grado de humedad relativa presente en el aire.
Desagüe de agua	Consiste en un sistema de drenaje cuya función es eliminar el exceso de agua proveniente de los chiflones de aspersión de agua.
Sistema de calefacción de la cámara	Dispositivo empleado para alcanzar la temperatura optima descrita en la norma.
Rejilla	Confeccionada de acero inoxidable es la base en la cual descansaran las placas de material para ser expuestas a radiación UV, agua.
Panel de Control	Panel de mando para activar los sensores y dar la lectura de temperatura y humedad.

Fuente: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

3.2.3. Consideraciones de diseño

Para el diseño y construcción de la cámara de envejecimiento se ha considerado variables de proceso como la temperatura ya que este debido a este factor diferentes materiales puestos a pruebas envejecen a distintas velocidades, en relación directa ya que, por lo general, el aumento de temperatura significa aceleración de las reacciones químicas, pues se alcanza prematuramente la energía de activación de la reacción. La segunda variable para considerar es la humedad, ya que está demostrado que la humedad relativa (HR) forma una película acuosa extremadamente delgada, formando un electrolito en la superficie del metal. Por acción de esta capa se corroe la mayoría de los metales expuestos a la intemperie por un proceso catódico de reducción de oxígeno y por último como tercera variable y no menos importante la radiación UV proveniente de las lámparas ya que la incidencia de estas sobre los especímenes prueba van a producir cambios y desgaste del material lo cual cambia sus propiedades.

Para diseñar la cámara de envejecimiento se tomarán en cuenta algunas consideraciones basadas en la norma ecuatoriana NTE INEN 1032-84 en colaboración con las normas ASTM G154-06 y ASTM G151-00 las cuales especifican los siguientes parámetros:

NTE INEN 1032-84

- **Fuente de luz:** compuesta de dos lámparas de arco-carbón que radia constantemente sobre las muestras, durante la prueba.
- **Tambor cilíndrico vertical:** En el que se colocan las muestras, y gira a la velocidad de una revolución por minuto.
- **Chiflones de aspersión de agua:** Para rociar las muestras obtener un medio húmedo.
- **Termostato:** Para control automático y constante de temperatura dentro de la cama del aparato
- **Regulador de humedad.**
- **Cámara aisladora:** En la cual se colocan todos los equipos anteriores; debe ser de acero inoxidable.

- El diseño de la cámara de prueba puede variar, pero debe construirse con un material resistente a la corrosión y además proporcionar medios para controlar la temperatura y la humedad relativa, además de la fuente radiante.
- Las lámparas para utilizar en el equipo serán dos las cuales pueden ser de arco-carbón o de radiación UV a utilizar dependerán del tipo de filtro que se emplee y del tipo de ciclo de exposición (las lámparas más comunes son la UVA -340, UVB-313 y UVA-351).
- **Los instrumentos de medición deben ser estandarizados y exactos:** y deben ser calibrados periódicamente para asegurar efectos de repetitividad (termómetros, temporizadores, radiómetros, higrómetros, etc.).
- El informe de resultados deberá basarse en la norma NTE INEN 1032-84.
- Las muestras de prueba pueden estar expuestas a la humedad en forma de rocío de agua, condensación o humedad alta.
- El tiempo de exposición en cámara de envejecimiento acelerado dependerá del espécimen de prueba.
- Para obtener los resultados más consistentes, se recomienda que los aparatos sin control de irradiación de retroalimentación funcionen en un entorno en el que la temperatura ambiente se mantenga entre 18 y 27 ° C.
- Para las muestras de pintura se utilizarán dos placas por muestras, una para el ensayo y la otra como placa testigo, en las cuales se aplica la pintura con 24 horas de anticipación.

ASTM G151-00

- Cualquier dispositivo destinado a proporcionar ciclos de luz y oscuridad tendrá medios para programar intervalos con o sin luz. El tiempo de cada ciclo de luz y oscuridad se controlará para dentro del 10% del tiempo de ciclo más corto utilizado. Es preferible utilizar temporizadores de ciclo que sean precisos y reproducibles como posible. Opcionalmente, medios para proporcionar un registro de la longitud pueden proporcionarse ciclos de luz y oscuridad.

- Para cumplir con los requisitos de un procedimiento de prueba particular además, es posible que el aparato también deba proporcionar medios para registrar o registrar los siguientes parámetros operacionales: Voltaje de línea; Voltaje de la lámpara y, en su caso, potencia de la lámpara; Corriente de la lámpara; Temperatura de negro sin aislamiento o aislado o termómetro de panel blanco; Temperatura del aire de la cámara de prueba; Humedad relativa de la cámara de prueba, Ciclos de rociado de agua; irradiancia o exposición radiante, o ambos, sobre una región espectral especificada; y, Duración de la exposición (tiempo de radiación y total, si diferente). Siga las recomendaciones del fabricante del dispositivo. Con respecto a la calibración de los dispositivos utilizados para registrar cada parámetro operacional

- El tiempo de exposición en cámara de envejecimiento acelerado dependerá del ciclo que se escoja referenciado en la norma ASTM G 151- 00 que incluye temperaturas, radiación y humedad relativa.

- En esta norma no se especifica el tipo de muestra a utilizar (forma, tamaño, grosor, corte) o la interpretación de los resultados.

- Utilizar lámparas diferentes en la cámara de prueba puede afectar significativamente los resultados.

ASTM G154 – 06

- **Calibración del instrumento:** para garantizar la estandarización y precisión, los instrumentos asociados a la exposición (por ejemplo, temporizadores, termómetros, sensores de bulbo húmedo, seco sensores de bulbo, sensores de humedad, sensores UV y radiómetros) Requiere calibración periódica para asegurar la repetibilidad de la prueba. Resultados Siempre que sea posible, la calibración debe ser rastrear hasta Normas nacionales o internacionales. Horario de calibración y el procedimiento debe ser de acuerdo con las instrucciones del fabricante estructuras.

- **Humedad:** las muestras de prueba pueden estar expuestas a humedad. Tura en forma de agua pulverizada, condensación o alta humedad.

- **Agua pulverizada:** la cámara de prueba puede estar equipada con un medio para introducir agua pulverizada intermitente en la prueba especímenes bajo condiciones específicas. El spray

debe ser distribuido uniformemente sobre las muestras. El sistema de pulverización deberá estar hechos de materiales resistentes a la corrosión para que no contamine el agua utilizada.

- **Humedad relativa:** la cámara de prueba puede estar equipada con un medio para medir y controlar la humedad relativa. Tales instrumentos estarán protegidos de la radiación de las lámparas.

- **Soportes para muestras:** los soportes para muestras de prueba deben ser hechos de materiales resistentes a la corrosión que no afectarán los resultados de la prueba. Aleaciones de aluminio o inoxidables resistentes a la corrosión. El acero se ha encontrado aceptable. Latón, acero o cobre no debe utilizarse cerca de las muestras de ensayo.

3.2.3.1. Soporte del equipo

El equipo cuenta con una estructura sólida, la cual brinda estabilidad y le proporciona la debida seguridad a la cámara.

Está constituida por cuatro patas cuadradas hechas de hierro forjado. Con el propósito de brindar una base estable en la cual apoyar el equipo, aparte de elevar la altura del dispositivo para proporcionar comodidad y facilidad de manejo y operación del equipo.

Tabla 5-3. Propiedades físicas del hierro forjado

Punto de Fusión	1536 °C
Punto de Ebullición	2740 °C
Densidad	7.8 gr/MI
Dureza	Oscila entre 4 y 5
Masa Atómica	55.847
Aleación	3% de Carbón con cantidades que varían (Sulfuro, Manganeso, Fosforo)

Fuente: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

Tabla 6-3 Características del hierro forjado

En estado puro es muy reactivo
Se corroe en condiciones de aire húmedo o a temperaturas elevadas.
Se alea con el carbono u otros materiales como (Mo, Ni, Va)
Blando
Maleable
Dúctil
Se magnetiza con facilidad a temperatura ambiente.
Es un metal activo
Se corroe formando óxido de hierro
Arde con oxígeno formando óxido férrico

Fuente: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

El diseño del soporte consta de 5 cm de ancho en cada pata, y una altura total de 86 cm y 50 cm de ancho.



Figura 1-3. Vista lateral del soporte

Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

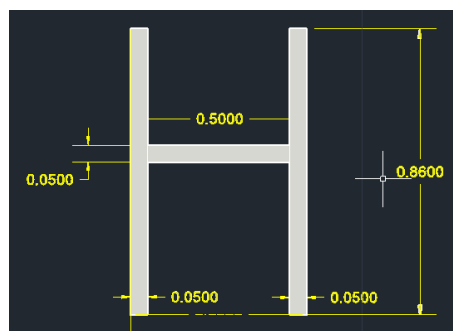


Figura 2-3. Vista frontal del soporte

Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

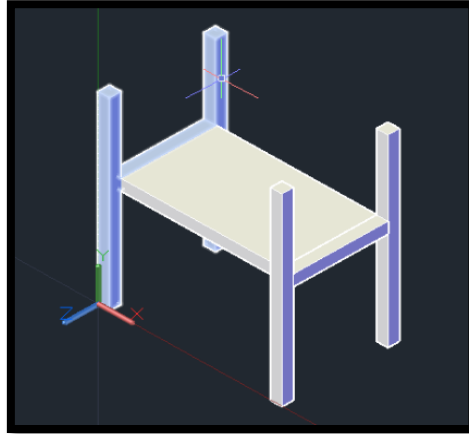


Figura 3-3. Vista 3D del soporte
 Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

3.2.3.2. Cuerpo de la cámara

Las dimensiones del cuerpo de la cámara fueron realizadas en base a las dimensiones que presentan las lámparas UV junto con su balastro y también a las dimensiones de las placas establecidas en la norma NTE INEN 1032-84 que se colocaran en el interior de esta, dándonos así las siguientes dimensiones:

(80 x 50 x 50) cm (Largo x ancho x altura).

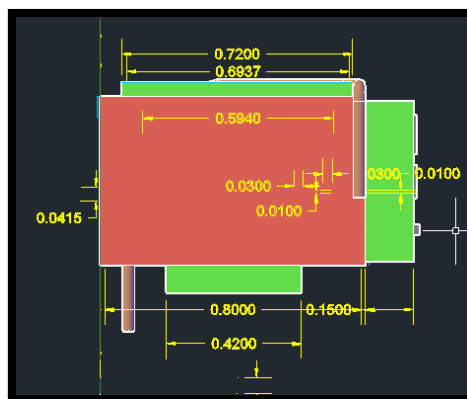


Figura 4-3. Vista lateral del cuerpo de la cámara
 Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

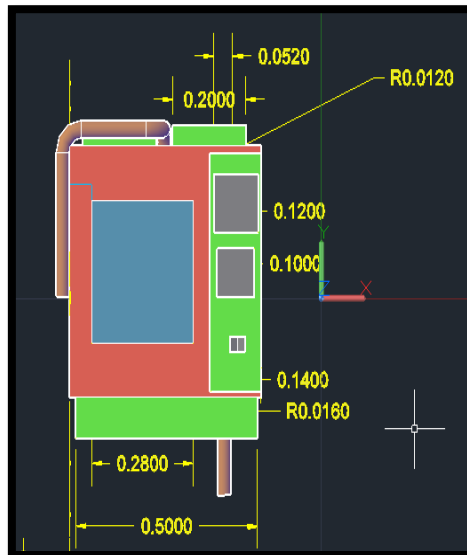


Figura 5-3. Vista frontal del cuerpo de la cámara
Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

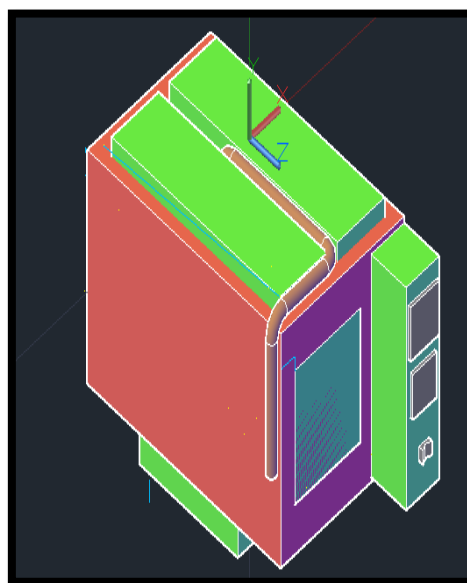


Figura 6-3. Vista 3D del cuerpo de la cámara
Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

El ancho se calculó en base al área que ocuparan tres muestras que se colocaran en la rejilla de acero inoxidable en la cual se depositaran cada una de las placas de material las mismas que en la norma NTE INEN 1032-84 se especifican sus dimensiones las cuales tienen un formato establecido A5 (15 x 21 cm) y además espesor de 0.8 mm limpiados hasta metal blanco.

El Largo se calculó de acuerdo con las dimensiones de las lámparas UV las mismas que tienen (70 x 6) cm (largo x ancho) dejando un espacio de seguridad entre las lámparas y las paredes del equipo de 5 cm.

La altura se calculó en base al ángulo de aspersion emitido por el chiflón de agua de tal manera que el agua rocié por completo y de forma homogénea a todas las placas y al mismo tiempo al calor suministrado al material por la niquelina, así como la radiación emitida por las lámparas UV de tal forma que la cámara tenga una cantidad homogénea de calor, radiación y humedad para cada una de las muestras que se introduzcan en la misma.

En el mercado se encuentran dos tipos de acero inoxidable como son: **AISI 304 que contiene 18% de cromo y 8% de níquel** y el **acero inoxidable AISI 316 que contiene 16% de cromo, 10% de níquel y 2% de molibdeno** la adición de molibdeno al acero inoxidable 316 mejora la resistencia a la corrosión cuando este se encuentra expuesto a cloruros como: agua del mar y sales de deshielo, es más resistente a la corrosión así como también tiene un costo más alto, se elige el acero 304 por su costo y por qué el equipo trabaja únicamente con agua dulce no con salada que desgaste al material de forma agresiva.

Tabla 7-3 Características generales del acero inoxidable

• No magnético.
• Presenta propiedades mecánicas como dureza, elasticidad.
• Excelente ductilidad (capacidad para conducir calor o electricidad).
• Buena resistencia a altas temperaturas (310 °C a 1100 °C).
• Excelente respuesta a bajas temperaturas, aplicaciones criogénicas.
• No puede ser endurecido por tratamiento térmico.
• Soldables utilizando los procedimientos adecuados y equipos estándar.
• Resistente a la corrosión (10.5% aproximadamente de cromo)

Fuente: Inoxcenter. Acero Inoxidable. <http://inoxcenter.com/caracteristicas-acero-inoxidable/>

Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

3.2.3.3. Estructura del equipo

Las dimensiones finales de la cámara de envejecimiento acelerado, una vez que ya se ha terminado la construcción del equipo, son las siguientes:

$$\text{Largo de camara} = \text{Largo del cuerpo} + \text{largo de los accesorios}$$

$$\text{Largo de camara} = 80 \text{ cm} + 17.8 \text{ cm}$$

$$\text{Largo de camara} = 97.8 \text{ cm}$$

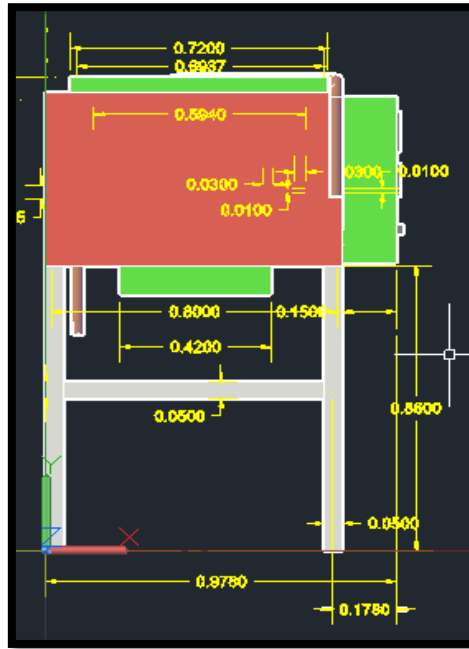


Figura 7-3. Vista lateral de la cámara de envejecimiento acelerado
 Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

Ancho de cámara = Ancho del cuerpo + Ancho de accesorios

$$\text{Ancho de cámara} = 50 \text{ cm} + 6.49$$

$$\text{Ancho de cámara} = 56.49 \text{ cm}$$



Figura 8-3. Vista frontal de la cámara de envejecimiento acelerado
 Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

Alto de camara = Alto del soporte + Alto del cuerpo + Alto de accesorios

Alto de camara = 86cm + 50cm + 6.98cm

Alto de camara = 142.98 cm

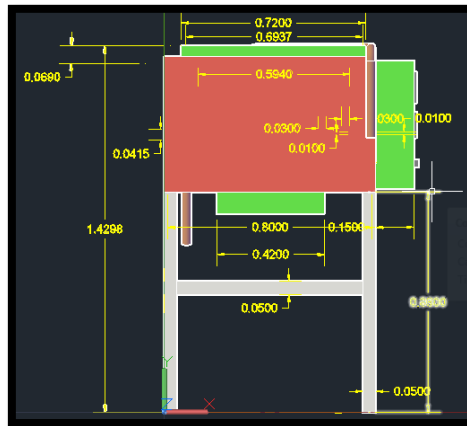


Figura 9-3. Vista lateral 2 de la cámara de envejecimiento acelerado
Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

3.2.3.4. Puerta de la cámara

La puerta por la que ingresarán las muestras al interior de la cámara está fabricada de acero inoxidable AISI 304 de 1 pulgada, el mismo que cuenta con vidrio templado de espesor nominal de 6 mm, el mismo que se encuentra sujeto con bisagras y asegurado con broches de palanca para seguridad, para ayudar a la hermeticidad se utilizó silicona sellándolo por completo evitando fugas de calor hacia el exterior.



Fotografía 1-3. Puerta de la cámara de envejecimiento acelerado
Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

El vidrio de la puerta de la cámara, así como los vidrios de las cajas contenedoras de las lámparas ultravioletas fueron adheridos al acero inoxidable con silicona especial aluminada ABRO SS SILICONA ANTIHONGOS 1200, la cual posee las siguientes características:

Tabla 8-3 *Características silicona ABRO SS SILICONA ANTIHONGOS 1200*

Forma Física	Pasta
Color	Blanco, Negro, Transparente
Olor	Ácido acético
Gravedad Especifica	1.03
Solubilidad en Agua (20 °C)	Insoluble
Adherencia	Vidrio, metales, maderas, plásticos, caucho, etc.
Flexibilidad	Muy Buena
Resistencia	Buena
Tiempo de Secado	24 horas
Permeabilidad	Buena
Tiempo de Curado	21 días a 25°C (77°F) 50% Humedad Relativa
Soporta Temperaturas extremas	-40°F(40°C) a 300°F(149°C)
Caducidad y Almacenamiento	12 meses a partir de su fecha de fabricación
Condiciones de Almacenamiento	Almacenar por debajo de 27°C (80°F)
Cumplimiento de estándares	(América, Asia, Europa)
Conserva Propiedades Elastómeras	(260°C a 343°C) periodos de exposición cortos

Fuente: Abro Industries, INC. Información del producto Abro SS-1200

Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

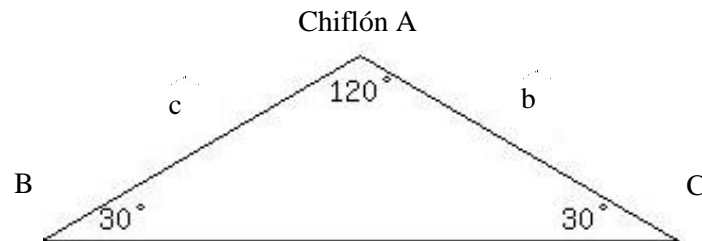
3.2.3.5. *Chiflones de aspersión de agua*

Usados con el objetivo de suministrar agua para cada una de las placas expuestas en el interior de la cámara, simulando ambientes húmedos, el chiflón de agua escogido es de acero inoxidable, para evitar la corrosión debido al cambio brusco de temperaturas, el mismo cuenta con una capacidad angular de aspersión de 120 ° con lo cual abarca toda la parrilla donde se encuentran las placas. El chiflón es regulable para aumentar o disminuir el ángulo de aspersión.

El ángulo de aspersión, junto con la longitud de las lámparas UV, son las bases del dimensionamiento de la altura, pues para que toda la parrilla tenga la cantidad suficiente de

agua, el chiflón debe posicionarse a una altura adecuada para que abarque la dimensión de la parrilla (50 x 80) cm.

Para calcular la altura del aspersor tomamos en consideración su ángulo para aplicar el teorema de los senos, encontrando así la altura requerida.



Dado que la longitud tiene mayor dimensión que el ancho de la cámara, se tomará en cuenta solamente esta dimensión (80 cm) y se aplica el teorema de los senos.

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}$$

Ya que el lado b y el lado c serán iguales, se puede trabajar con cualquiera de los dos lados junto con el lado que si tenemos dimensionado.

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B}$$

El lado que vamos a obtener será el b por lo tanto.

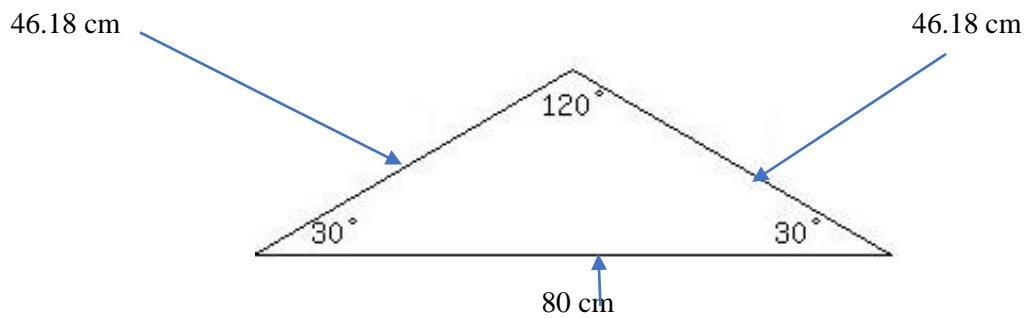
$$b = \frac{a * \sin B}{\sin A}$$

Reemplazando valores.

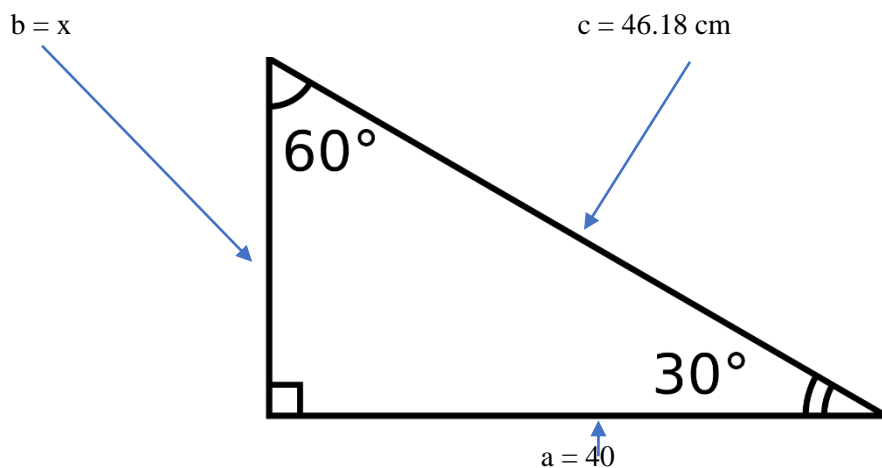
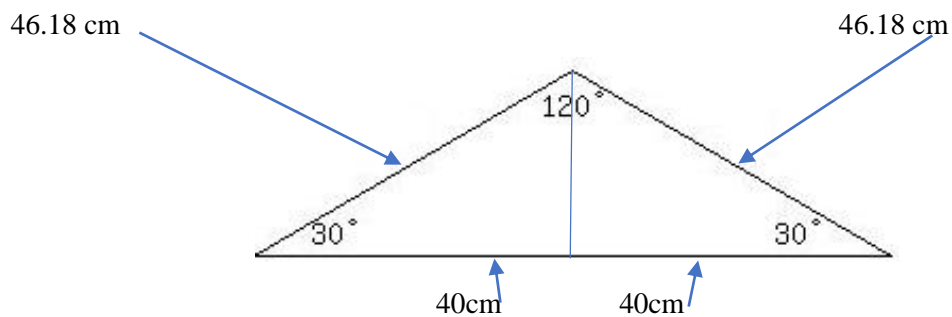
$$b = \frac{80 * \sin 30}{\sin 120}$$

$$b = 46.188 \text{ cm}$$

$$c = 46.188 \text{ cm}$$



Con las longitudes de los lados podemos obtener la altura, dividiendo al triángulo con una bisectriz, se formará un ángulo de 90° que nos permite utilizar el teorema de Pitágoras.



Aplicando Pitágoras:

$$c^2 = a^2 + b^2$$

$$b^2 = c^2 - a^2$$

$$b^2 = 46.18^2 - 40^2$$

$$b^2 = 532.59$$

$$b = 23.07 \text{ cm}$$

Por lo tanto, la altura mínima para que el aspersor abarque toda la parrilla es de 23.07 cm, sin embargo, para asegurarse que las gotas que llegan a los extremos de la parrilla no sean muy escasas, se aumentó a 25 cm de altura.

Esta distancia de 25 cm será entre la parrilla y el chiflón, pero para obtener la altura de la cámara es necesario tomar en cuenta que la parrilla debe encontrarse en el centro de la cámara, ya que el calor suministrado por la resistencia será más regular en el centro del equipo, se deja la misma distancia hacia abajo, quedando en una altura total de 50 cm.

Existe una gran variedad de aspersores de agua que se los encuentra disponibles en el mercado entre los cuales son: rotores de largo alcance, a presión, rociadores, rotores de medio alcance, micro aspersores, burbujeadores, se los encuentra en diferentes materiales como son en plástico y en latón.

Para elegir el aspersor idóneo para la cámara que suministre una cobertura completa de todas las placas se optó por un aspersor de plástico de medio alcance, ya que el área en donde se ubican los especímenes a ser expuestos al ataque ambiental simulado por este aspersor es mínima además que su costo comparándolo con otros dispositivos es mínimo abaratando así los costos.



Fotografía 2-3 Aspersor de agua de la cámara de envejecimiento acelerado

Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

3.2.3.6. Fuente de luz

Se entiende por radiación UV a emisiones de radiación con longitudes de onda entre 200 y 400 nm. Esta radiación se clasifica en UV-A, UV-B y UV-C las mismas que cuentan con las siguientes longitudes de onda:

Radiación UV	UV-A	UV-B	UV-C
Longitud de onda	320-400 nm	280-320 nm	100-280 nm

Existe una gran diversidad de lámparas UV en el mercado las más utilizadas para este tipo de equipos a nivel industrial son: Lámparas ultravioletas modelo UVB-313EL, Lámparas ultravioletas modelo UVA-340, Lámparas arco xenón, Lámparas arco carbón, las mismas que vienen en diferentes dimensiones dependiendo del tamaño del equipo.

Las lámparas que se utilizaron para el diseño y construcción de este prototipo fueron: CHANGHONG T8 Lamp UV GL30 de 30 Watts, las cuales contienen un poder UV de 13.4 Watts y una intensidad de radiación ultravioleta de 130 uW/cm, con una dimensión de 70 cm, las mismas que son fáciles de conseguir en el mercado nacional a comparación de otras que se requiere exportar de países como: Alemania, Rusia, Bélgica, incrementando sus costos. Estas lámparas son idóneas para simular el ataque solar ya que su longitud de onda no es perjudicial para la salud de los estudiantes que van a manipular el equipo como otras lámparas, en las cuales se necesita ciertos equipos de protección como guantes y gafas para evitar cáncer a la piel o quemadura de retina en los ojos.

El espectro ultravioleta que emite este tipo de lámparas por su dopaje y tipo de cuarzo según el fabricante es el siguiente:

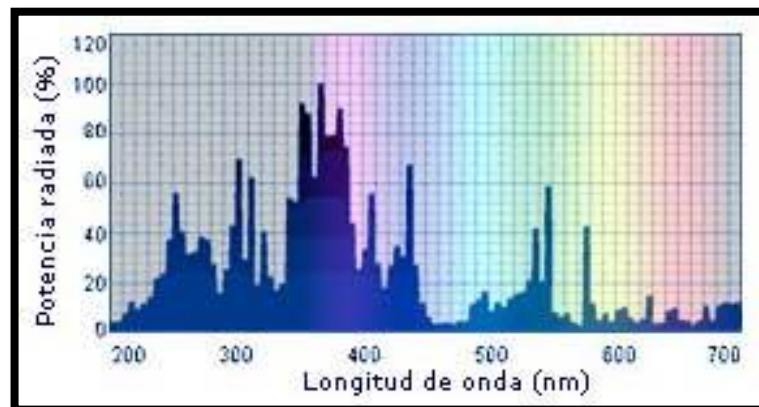


Figura 10-3. Espectrografía de la lámpara UV Changhong T8
Fuente: CHANHONG

La cámara cuenta con 4 lámparas ultravioletas, dispuestas de forma vertical en la parte superior de la misma, ubicadas en la parte interna de 2 cajas de acero inoxidable, dispuestas 2 lámparas en cada una de las cajas para el aislamiento de estas evitando la corrosión en el cableado de las lámparas.

Las dimensiones de las lámparas ultravioleta sirven de referencia para establecer la longitud de la cámara, ya que van a ir dentro de esta. Por lo tanto, conocer estas dimensiones es fundamental. Consta de 69.4 cm de largo, y 5 cm de ancho.

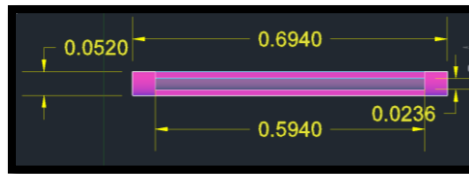


Figura 11-3. Vista lateral de lámparas ultravioletas
 Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

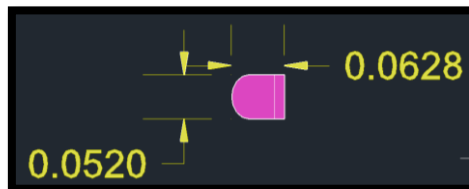


Figura 12-3. Vista frontal de lámparas ultravioletas
 Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

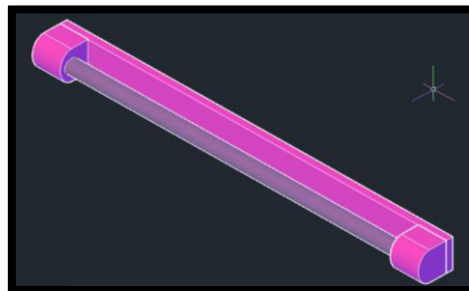
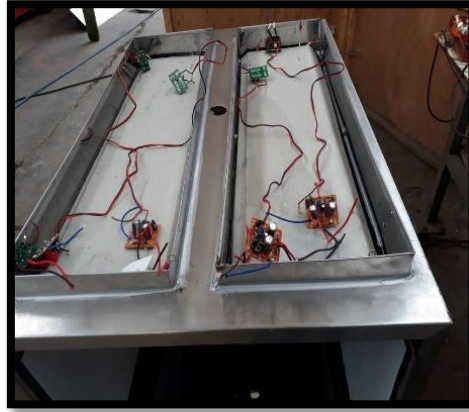


Figura 13-3. Vista 3D de lámparas ultravioletas
 Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

Las cajas aislantes para las lámparas se encuentran recubiertas con lana de vidrio para evitar que el calor suministrado por la resistencia pueda dañar el cableado, los balastos o los tubos fluorescentes, pero también permite el fácil acceso a los mismos en caso de que se requiera cambiar cualquier dispositivo electrónico cuando haya concluido su tiempo de vida útil. Para el caso de los tubos CHANGHON T8, su vida útil es de 6000 horas.



Fotografía 3-3 Cajas contenedoras de lámparas UV
Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018



Fotografía 4-3. Lámparas ultravioletas en el equipo
Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

3.2.3.7. Termostato

Para la elección idónea de un termostato en base a especificaciones de las normas se encontró disponible en el mercado dos modelos los cuales son: Termostato dig. 110-240vac, 1 sal. SPST 5A termoc J-K-PT100 y HONEYWELL DC1010 operan desde -20°C a $+65^{\circ}\text{C}$, escogiéndose así el primer modelo ya que la normativa pide alcanzar valores de temperatura de 70°C y este cuenta con una capacidad de hasta 400°C manteniendo constante la temperatura dentro de la cámara, la termocupla se encuentra en varios centros electrónicos en dos tipos los cuales fueron: el tipo K y el tipo J, el tipo J cumple con las especificaciones ya que este permite llegar a temperaturas de hasta 700°C y para el prototipo de la cámara es más que suficiente esta temperatura mientras que el tipo K llega hasta 1200°C el cual es demasiado junto con su costo.



Fotografía 5-3. Calibración del termostato
Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

3.2.3.8. Aislante térmico

Para que la cámara se mantenga a una temperatura adecuada, solicitada por la normativa, así como también para que mantenga la humedad, se la recubrió con aislante térmico, en este caso lana de vidrio, el mismo que permite que no sea necesario gastos de energía muy elevados. De igual manera la lana de vidrio evita que el calor se desplace hacia la superficie de la cámara, evitando que la superficie se sobrecaliente y sea peligrosa al tacto.

El aislante también se utiliza alrededor de las lámparas ultravioleta, para que el calor suministrado por la níquelina no desgaste ni dañe los tubos fluorescentes que se encuentran dentro de los compartimientos de las lámparas.

Para mantener la temperatura idónea en el interior de la cámara se comparan los diferentes aislantes térmicos existentes en el mercado los cuales son: Poliestireno expandido, poliestireno extruido, espuma de poliuretano, lana de roca, lana de vidrio, corcho, virutas de madera, celulosa, perlita expandida, vidrio celular, cáñamo, algodón, luego de compararlos entre sí se selecciona lana de vidrio debido a sus características y propiedades.

Se prefiere este material ya que es un producto de origen natural, mineral e inorgánico. Es un producto atóxico, está compuesto por filamentos de vidrio aglutinados mediante resina, el mismo que presenta una buena resistencia a la humedad a comparación de otros aislantes como: Poliestireno expandido, poliestireno extruido.



Fotografía 6-3: *Lana de vidrio en las cajas de lámparas*
Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

Tabla 9-3 Características lana de vidrio

100% reciclable
No contamina el medio
Producto inerte (tanto para la naturaleza como para el hombre)
No cancerígeno
No es inflamable
Son livianos y flexibles
No genera humo ni gases nocivos
Resistente a altas temperaturas
Retrasa la propagación del fuego
No se degradan con el tiempo
Evitan puentes térmicos
Son fáciles de colocar

Fuente: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

3.2.3.9.Higrómetro

Para medir variables como la humedad que se encuentra presente en el aire atmosférico en el interior de la cámara, se busca un dispositivo de buena calidad y con una buena precisión encontrando en el mercado los siguientes tipos: Higrómetros de condensación, de absorción y digital.

Por esta razón se elige el modelo TERMOMETRO HIGROMETRO LCD que es un higrómetro digital el que cuenta con las siguientes características:

- ✓ Tiene un Alcance: $-50 \sim 70^{\circ}\text{C}$ (-58°F a 158°F), humedad: 10%RH – 99%RH
- ✓ Tiene una Precisión: $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ ($1,8^{\circ}\text{F}$) $\pm 5\%$ HR
- ✓ Resolución: $0,1^{\circ}\text{C}$ ($0,1^{\circ}\text{F}$), 1% de HR
- ✓ Dimensión: 100 x 108 x 20mm
- ✓ Mide en dos unidades: $^{\circ}\text{C}$ y $^{\circ}\text{F}$
- ✓ Graba el valor más alto y bajo de temperatura y humedad

Se escoge este dispositivo porque su alcance para medir la humedad es casi del 100% lo que por especificaciones de normativa se debe alcanzar en el interior teniendo una humedad absoluta ya que esta es una variable que acelera el desgaste de los especímenes prueba.

Se utiliza un termohigrómetro digital para medir la humedad relativa dentro de la cámara, esta humedad se obtiene del cociente entre la humedad que contiene el aire y la humedad de saturación a presión y temperatura constantes, la pantalla del termohigrómetro muestra la humedad relativa expresada en tanto por ciento (%). Este equipo es utilizado con el fin de mantener la humedad constante como indica la normativa para el proceso de envejecimiento acelerado.

El cable que conecta al sensor con la pantalla tuvo que ser aislado con asbesto para evitar que se desgaste el material, pues al igual que las placas, se encuentra expuesto al envejecimiento acelerado.



Figura 14-3. Termohigrómetro digital
Fuente: Catalogo Proskit

3.2.3.10. Desagüe de agua

Ducto de eliminación de agua no vaporizada o condensada, de 1/8 pulgadas para evitar empozamiento dentro de la cámara. La parte inferior se encuentra con una ligera inclinación para que el agua que se encuentre en la superficie se deslice sin inconvenientes hacia el agujero del desagüe. La dimensión es grande puesto que también por este saldrá el agua cuando se disponga a realizar la limpieza del equipo. Es decir, debe desfogar también residuos de óxido o pintura que pudiesen haber quedado dentro de la cámara una vez concluida las diferentes prácticas.

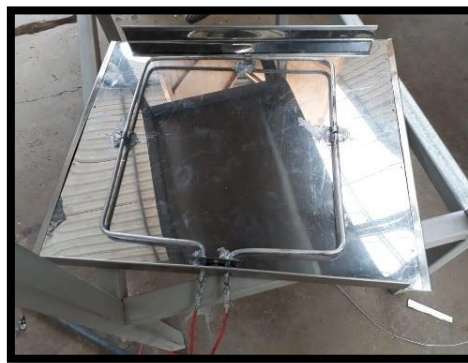


Fotografía 7-3. Desagüe de la cámara
Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

3.2.3.11. Sistema de calefacción de la cámara

La cámara de envejecimiento acelerado necesita llegar a una temperatura apropiada para que la corrosión se manifieste de mejor manera, para ello se utiliza una niquelina que calienta hasta 100°C, para que pueda ser utilizada a la temperatura indicada, así como también a otras que se requiera.

Esta niquelina es una resistencia eléctrica tubular de acero inoxidable de 46 x 38 cm y con diámetro de varilla de 5 mm, que calienta mediante convección forzada al interior de la cámara. La resistencia posee una potencia de 1500 Watts y 110 Voltios. Esta resistencia se encuentra conectada al termostato para regular la temperatura interna de la cámara según la necesidad; es decir, si la temperatura sobrepasa lo establecido en el termostato apagará la resistencia hasta que la temperatura este por debajo de lo necesitado, en cuyo caso la volverá a encender.



Fotografía 8-3. Resistencia eléctrica de la cámara

Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

Para evitar que la superficie inferior de la resistencia se encuentre muy caliente y sea peligrosa al tacto, se utilizó el aislante (lana de vidrio) en un contenedor de la resistencia que se encuentra por fuera del cuerpo de la cámara de envejecimiento acelerado.

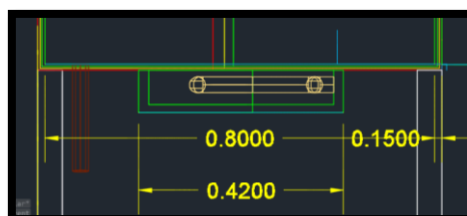


Figura 15-3. Dimensiones de la resistencia eléctrica

Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

3.2.3.12. Rejilla

Las rejillas utilizadas dentro de la cámara servirán como soporte de las placas de prueba que se colocarán para las prácticas, estas son esenciales para que las muestras reciban de forma homogénea el calor, la radiación y el agua necesaria para que el envejecimiento acelerado se produzca de mejor manera, por esta razón, se encuentran en el centro del equipo.

Para las dimensiones de la rejilla se tomaron en consideración los siguientes aspectos:

- Resistencia a la corrosión
- Dimensiones del equipo
- Número de especies de prueba
- Fácil manejo para mantenimiento

El material elegido es acero inoxidable al igual que el de la cámara, puesto que se va a encontrar expuesto al envejecimiento, por lo que se debe elegir un material resistente a las condiciones internas que produce la cámara.

Las rejillas se diseñaron de forma que puedan ser extraídas fácilmente para su mantenimiento y limpieza, además de permitir el flujo del exceso de agua sobre las placas de prueba, teniendo una dimensión final de 80 cm de largo, 50 cm de ancho y una separación entre rejillas de 3 cm.

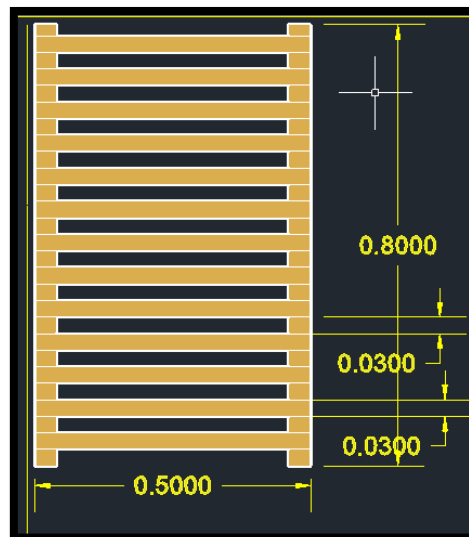


Figura 16-3. Vista superior de rejilla

Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

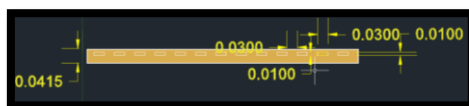


Figura 17-3. Vista lateral de rejilla
Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

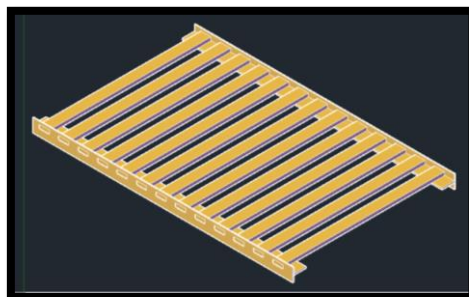


Figura 18-3. Vista 3D de rejilla
Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

3.2.3.13. Dispositivos de Control

Para el alojamiento del sistema eléctrico y cableado, se ha dispuesto una caja de control, con el fin de facilitar el uso de la cámara de envejecimiento acelerado, permitiendo realizar varios cambios en la configuración del equipo. Se sitúa en la parte derecha de la cámara en la que se ubica los controladores de temperatura y humedad (termostato e higrómetro).

Dentro de esta se encuentran las conexiones de los diferentes equipos eléctricos a un relé, ya que el proceso del equipo cuenta con ciclos alternos y es necesario que posea sistemas individuales que permite regular tres circuitos. El primero de ellos es la conexión de la resistencia eléctrica, que se encuentra conectada a un interruptor eléctrico que permite el paso y la interrupción de la corriente hacia la resistencia, con el fin de que la misma no se encienda automáticamente si es que no se la necesita; el segundo ciclo consiste en la conexión de las lámparas ultravioleta, que del mismo modo se encuentra conectado a un interruptor con el mismo fin que el de la resistencia; y el tercero es la entrada de corriente para los sensores, pues estos tienen que estar encendidos durante toda la ejecución de la práctica.



Fotografía 9-3- Relé dentro del panel de control
Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

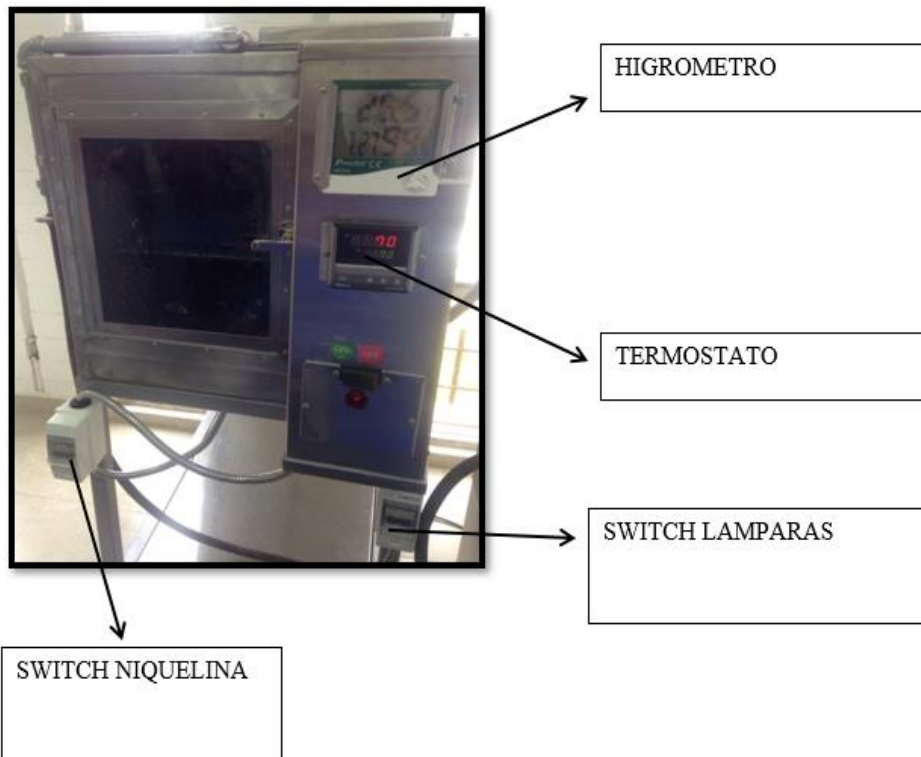


Figura 19-3. Dispositivos de control
Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

3.3. Proceso de Producción

Para la puesta en marcha de la Cámara de Envejecimiento Acelerado es necesario seguir ciertas técnicas de laboratorio que servirán como guía al estudiante o a la persona encargada del manejo y puesta en marcha del equipo (ANEXO E).

3.3.1. *Preparación de las muestras*

Las muestras deben permanecer en condiciones de temperatura ambiente durante 7 días, a menos que se trate de pintura horneada, en cuyo caso se necesitan solamente 24 horas.

La muestra de ensayo debe tomarse del recipiente de envase, luego de una agitación mecánica vigorosa.

Los paneles de ensayo deben ser de lámina de acero laminado en frío; deben estar previamente preparados de acuerdo con la norma de requisitos del producto que debe analizarse y las dimensiones serán formato A5 (15*21) y de 0.8 mm de espesor limpiados hasta metal blanco.

Procedimiento

Para la prueba de cada producto emplear 2 placas; una para el ensayo y la otra como placa testigo.

Aplicar la pintura sobre las placas de acero. La preparación de la superficie de aplicación, los espesores de película y el sistema de secado se fijan en las normas del producto correspondiente.

Colocar las placas en el aparato de intemperismo acelerado, debiendo permanecer bajo las condiciones producidas por dicho aparato un mínimo de 200 horas y un máximo de 700 horas continuas, según se fije la norma del producto correspondiente.

Al terminar el tiempo de exposición, extraer e inspeccionar de inmediato los especímenes de prueba tomando en consideración las fallas descritas.

3.3.2. *Procedimiento de manejo de la cámara de envejecimiento acelerado*

1. Conectar el enchufe del equipo a una fuente de energía eléctrica de 110V

2.Colocar la manguera de desagüe del agua al grifo para evitar derrames o inundaciones en el Laboratorio.

3.Conectar la manguera de alimentación de agua del equipo a una fuente de agua que la mantenga constante.

4.Colocar dentro de la cámara de exposición (varillas) 3 muestras de placas de acero cuya dimensión es de (15 de ancho x 21 de largo), previamente pintadas con una pintura diferente, y lijadas para tener una superficie homogénea sin impurezas, para medir cuál de estas se deteriora más rápido.

5.Cerrar la puerta de acceso a la cámara para mantener la temperatura idónea en el interior de esta.

6.Para encender el equipo se debe presionar el switch ON, del lado derecho inferior del panel de control acciona los sensores de temperatura, humedad.

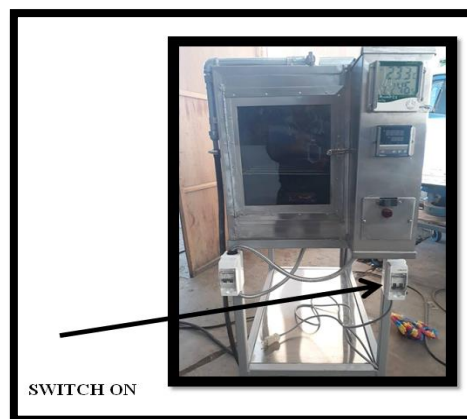


Figura 20-3. Encendido del equipo
Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

7.Presionar el switch ON, del lado izquierdo para accionar el funcionamiento de la niquelina que se encuentra en la parte inferior de la cámara.

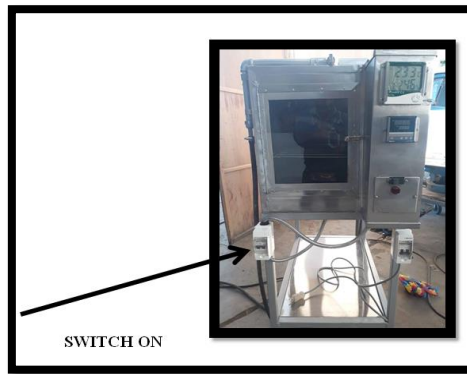


Figura 21-3. Encendido de níquelina
Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

8. Presionar el botón último del panel de control para prender las lámparas que se encuentran en el interior de la cámara de envejecimiento las mismas que irradiaran luz UV simulando las radiaciones del sol.

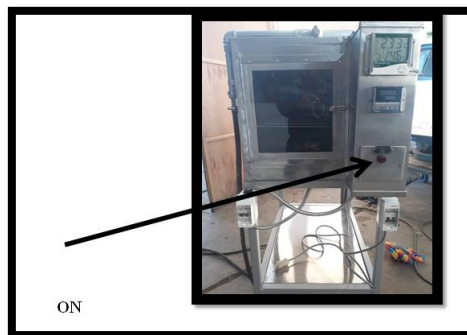


Figura 22-3. Encendido de lámparas UV
Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

9. Para proporcionar agua al sistema, se encuentra una perilla en la parte superior intermedia de las cajas que contienen en su interior las lámparas, la misma que, verticalmente se encuentra cerrada y horizontalmente abierta, esta nos dará un flujo constante de agua potable que se suministra desde una fuente de agua, esta se abrirá según la necesidad de obtener la humedad relativa necesaria según el ciclo.

10. La práctica se llevará a cabo durante una semana, intercalando ciclos diferentes para acelerar el desgaste de material que simulará intemperismo.

11. Para apagar el equipo una vez terminado el periodo de 8 días se debe bajar los dos switch a la posición OFF.

12. Esperar un tiempo hasta que el equipo se enfríe para retirar las placas de acero y sacarlas con mucho cuidado de no quemarse, esto mediante la ayuda de guantes industriales.

13. Desconectar la fuente que alimentaba al equipo de agua.

14. Desconectar el enchufe y doblarlo para evitar daños.

15. Limpiar las varillas en caso de que se encuentre residuos de pintura en las mismas que hagan que se adhiera a la superficie ocasionando óxido.

3.3.3. Validación de la cámara de envejecimiento acelerado

Para poseer una evidencia documentada sobre la veracidad y funcionalidad del equipo construido, que proporciona un alto grado de seguridad de que el proceso sea confiable y seguro, se realizó una práctica de laboratorio que consistía de 3 técnicas, utilizando 3 placas de acero inoxidable de una misma dimensión (15x21) cm, pintadas cada una con una diferente tipo de pintura (anticorrosiva, esmalte alquídico, esmalte sintético), cada prueba tenía un objetivo diferente de apreciar la corrosión que afecta al material.

Las Marcas de las pinturas son:

Tabla 10-3. Marca de pinturas

COLOR	MARCA
AMARILLA	ESMALTE SUPREMO PINTURAS UNIDAS
AZUL	ELASTOCRYL OPTIMA PINTURAS UNIDAS
BLANCA	PINTURA SUPERFUERTE PROFESIONAL 1/20 DURACOLOR

Fuente: Daniela Cabezas, Enrique Mejía

Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

CARACTERISTICAS DE CADA PINTURA

Tabla 11-3. Esmalte supremo pinturas unidas

Esmalte Supremo Pinturas UNidas	
Pigmentación	Resistentes a los productos químicos e intemperie.
Tipo de Resina	Alquídica
Elastocryl Optima Pinturas Unidas	
Pigmentación	Altamente resistente a los cambios del clima
Tipo de Resina	Acrílica modificada

Pintura Superfuerte Profesional 1/20 Duracolor	
Pigmentación	Resistente al desgaste
Tipo de Resina	Satinado

Fuente: Daniela Cabezas, Enrique Mejía

Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018



Fotografía 10-3. Validación del equipo con los estudiantes de 7mo semestre

Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

Se puso el equipo a disposición de los estudiantes de 7mo semestre, para el desarrollo de técnicas diseñadas para el empleo de este en la asignatura de Corrosión pudiendo así apreciar de manera practica el desgaste del material y no solo de forma literaria en las aulas de clase en donde se genera el conocimiento.

Las pruebas de laboratorio se realizaron con los estudiantes de 7mo semestre, en la asignatura de Electroquímica de la Carrera de Ingeniería Química, la misma que tenía como objetivo la determinación de corrosión por el método de pérdida de peso, determinación de corrosión por caleo y decoloración, determinación de herrumbramiento y ampollamiento, debido al tiempo, al interior del equipo ingresaron únicamente 3 placas de acero inoxidable, ya que las mismas debían ser sometidas a un ambiente húmedo, seco, húmedo- seco y nocturno durante una semana (168 horas) el mismo que simula 5 años de intemperismo.

De acuerdo con la noma ASTM se nos pedía ciclos alternos de oscuridad y luz, bajo condiciones específicas de temperatura las cuales nos regimos mediante la siguiente tabla:

Tabla 12-3. Tabla de normas técnicas y ciclos

	Tiempo (horas)	CICLO RADIACION UV	Tiempo (horas)	CICLO OSCURIDAD
ASTM D 4587-01	4	60°C, 100%HR	20	50°C, Condensación
ASTM G 53-96	60-70°C, atm saturada humedad.	40-60°C, Condensación
ASTM G 154	8	60°C	4	50°C, Condensación

Fuente: Daniela Cabezas, Enrique Mejía

Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

Con estos tiempos de exposición se pudo apreciar de manera tan notoria el ataque tan agresivo que sufrieron cada una de las placas en el interior del equipo ya que se obtuvo resultados visibles adecuados para una comparación y toma de datos significativa.

Cada una de las placas que fueron introducidas al equipo, fueron previamente preparadas, es decir; limpiadas y lijadas para tener una superficie homogénea y por último pintadas con un tipo diferente de pintura, para lograr apreciar, al culminar la técnica de laboratorio, cual pintura fue la que estas condiciones ambientales logro afectar más en su estructura. Se utilizó 6 placas de acero inoxidable, 3 de las cuales iban a ser ingresadas al equipo, y las otras 3 nos servirían para comparar el antes y el después, al momento de sacarlas luego de una semana de un ataque ambiental en su interior.



Fotografía 11-3. Explicación del funcionamiento de la cámara

Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

En las siguientes imágenes se aprecia el antes y el después de cada una de las placas, así como también, cada uno de los pesos que al principio tenían y los pesos que tenían al finalizar la técnica de laboratorio.

ANTES

DESPUES

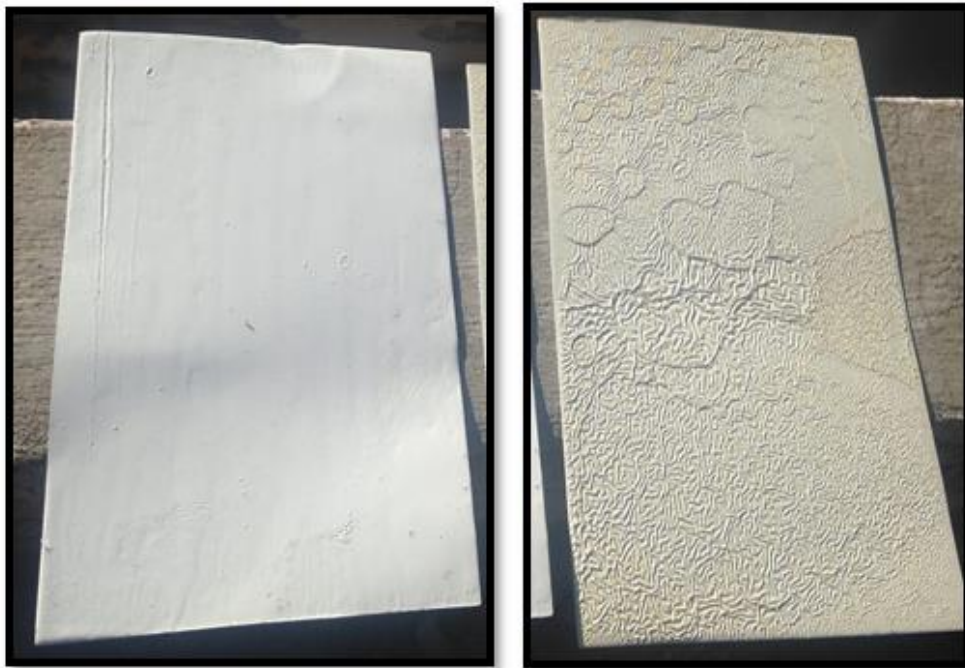


Fotografía 12-3. Diferencia antes y después de la práctica de la placa azul
Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

Se puede observar en la comparación de la fotografía que la pintura anticorrosiva no sufrió mucho daño luego de haber sido expuesta a la cámara de envejecimiento acelerado.

ANTES

DESPUES



Fotografía 13-3. Diferencia antes y después de la práctica de la placa blanca
Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

ANTES



DESPUES



Fotografía 14-3. Diferencia antes y después de la práctica de la placa amarilla
Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

En la Fotografía 13 y 14 del capítulo 3 se puede apreciar el cambio drástico que se produce en las placas de color blanca y amarilla. Existe descoloramiento, ampollamiento y otros aspectos que a continuación serán analizados.

PESOS DE CADA UNA DE LAS PLACAS

A continuación, se muestra la diferencia de pesos antes y después de haber sido expuestas en la cámara de envejecimiento acelerado.

ANTES



DESPUES



Fotografía 15-3: Diferencia de pesos antes y después de la práctica placa amarilla
Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

ANTES

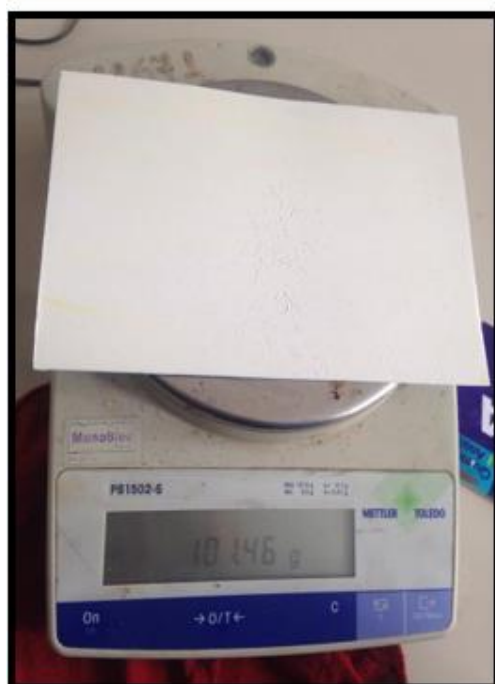


DESPUES



Fotografía 16-3. Diferencia de pesos antes y después de la práctica placa azul
Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

ANTES



DESPUES



Fotografía 17-3. Diferencia de pesos antes y después de la práctica placa blanca
Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

3.3.3.1. Cálculos y resultados de las prácticas para la validación

TECNICA 1: DETERMINACION PERDIDA DE PESO

Antes de ingresar cada una de las placas a la cámara de envejecimiento acelerado se tomó los pesos de cada una los mismos que se muestran a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 13-3. Datos experimentales validación de Cámara de Envejecimiento Acelerado

MATERIAL	DESIGNACION PLACAS	PESO INICIAL (GR)
ACERO INOXIDABLE	Placa 1 (Amarilla)	96.59
	Placa 2 (Azul)	95.49
	Placa 3 (Blanca)	101.46

Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

Tabla 14-3 Datos experimentales Determinación de Corrosión por Pérdida de peso

MATERIAL	DESIGNACION PLACAS	PESO FINAL (GR)
ACERO INOXIDABLE	Placa 1 (Amarilla)	95.39
	Placa 2 (Azul)	95.40
	Placa 3 (Blanca)	101.03

Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

La prueba finalizó al cumplirse 1 semana (168 horas), con resultados notoriamente considerables, para el posterior cálculo del porcentaje de peso perdido durante la prueba de laboratorio. Para pesar nuevamente, se lijo y limpio todas las impurezas, obteniéndose así el peso que perdió cada una de las placas por el ataque ambiental agresivo dentro de la cámara, debido a la corrosión que se produjo en su interior, estos cálculos se realizan a continuación para cada uno de los especímenes:

$$**P perdido = P inicial - P final**$$

Dónde:

P perdido (gr) = Peso perdido por corrosión

P inicial (gr) = Peso de la muestra antes de la prueba

P final (gr) = Peso de la muestra al final de la prueba

PLACA 1 (AMARILLA)

$$**P perdido1 = P inicial 1 - P final 1**$$

$$**P perdido1 = (96.59 - 95.39) gr**$$

$$**P perdido1 = 1.2 gr**$$

PLACA 2 (AZUL)

$$**P perdido2 = P inicial 2 - P final 2**$$

$$**P perdido2 = (95.49 - 95.40) gr**$$

$$**P perdido2 = 0.09 gr**$$

PLACA 3 (BLANCA)

$$**P perdido3 = P inicial 3 - P final 3**$$

$$**P perdido3 = (101.46 - 101.03) gr**$$

$$**P perdido3 = 0.43 gr**$$

PARA EL PORCENTAJE DE PERDIDA DE CADA MUESTRA:

$$**\% perdido = \frac{P perdido * 100\%}{P inicial}**$$

Dónde:

% Pérdida: Porcentaje de material perdido durante la prueba.

P perdido: Peso perdido en gramos de la muestra

P inicial: Peso en gramos de la muestra antes de la prueba.

PLACA 1 (AMARILLA)

$$\% \textit{perdido 1} = \frac{P \textit{perdido1} * 100\%}{P \textit{inicial 1}}$$

$$\% \textit{perdido 1} = \frac{1.2 \textit{ gr} * 100\%}{96.59}$$

$$\% \textit{perdido 1} = 1.242 \%$$

PLACA 2 (AZUL)

$$\% \textit{perdido 2} = \frac{P \textit{perdido2} * 100\%}{P \textit{inicial 2}}$$

$$\% \textit{perdido 2} = \frac{0.09 \textit{ gr} * 100\%}{95.49}$$

$$\% \textit{perdido 2} = 0.0094 \%$$

PLACA 3 (BLANCA)

$$\% \textit{perdido 3} = \frac{P \textit{perdido3} * 100\%}{P \textit{inicial 3}}$$

$$\% \textit{perdido 3} = \frac{0.43 \textit{ gr} * 100\%}{101.46}$$

$$\% \textit{perdido 3} = 0.42 \%$$

- Resultados de pérdida de peso

A continuación, se describe los resultados obtenidos en los ensayos realizados en la validación de la Cámara de Envejecimiento Acelerado ya construida, y los datos obtenidos, junto a los estudiantes de 7mo semestre de la carrera de Ingeniería Química de la ESPOCH.

Tabla 15-3. Resultados de validación de la Cámara de Envejecimiento Acelerado

MATERIAL	DESIGNACION PLACAS	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)	PESO PERDIDO (gr)
ACERO INOXIDABLE	Placa 1 (Amarilla)	96.59	95.39	1.2
	Placa 2 (Azul)	95.49	95.40	0.09
	Placa 3 (Blanca)	101.46	101.03	0.43

Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

Tabla 16-3. Resultados de la Practica Determinación de Grado de corrosión

MATERIAL	DESIGNACION PLACAS	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)	PESO PERDIDO (gr)	PORCENTAJE DE PERDIDA (%)
ACERO INOXIDABLE	Placa 1 (Amarilla)	96.59	95.39	1.2	1.242
	Placa 2 (Azul)	95.49	95.40	0.09	0.0094
	Placa 3 (Blanca)	101.46	101.03	0.43	0.42

Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

TECNICA 2: DETERMINACION CORROSIÓN POR CALEO Y DECOLORACIÓN

Para determinar el grado de caleo se aplica el siguiente procedimiento tomado de la norma INEN 1032 PINTURAS ANTICORROSIVAS ENSAYO DE LA RESISTENCIA AL INTEMPERISMO ACELERADO:

1. Usar lienzo de lana, de color negro o azul marino, para recubrimientos blancos o ligeramente coloridos y un lienzo de lana blanco para recubrimientos oscuros.
2. Enrollar el lienzo alrededor del dedo pulgar y presionarla película.
3. Girar el dedo abarcando un ángulo de 180°.
4. Retirar el lienzo y comparar la mancha que queda en el panel con los patrones fotográficos de referencia incluidos en esta norma (ver Fig. XLVII). El grado de falla puede variar de un área a otra, por cuya razón se debe tomar el promedio de 3 medidas de la película para asignarle su valor.

GRADO DE CALEO

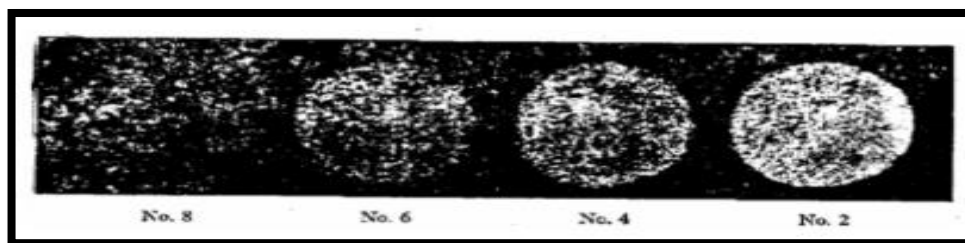


Figura 23-3. Patrón fotográfico de grados de caleo.
Fuente: NTE INEN 1032

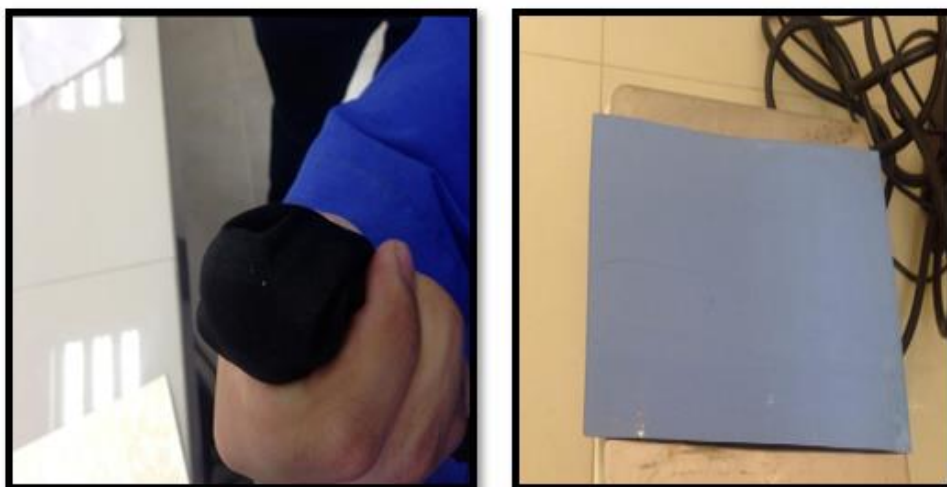
PLACA 1 (AMARILLA)



Fotografía 18-3. Prueba de Caleo de la placa amarilla
Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

Luego del procedimiento sometido a las placas en la Cámara de Envejecimiento Acelerado, para la determinación del grado de caleo y decoloración de la placa, tomando como patrón fotográfico de comparación la figura 1 de la norma **INEN 1032 PINTURAS ANTICORROSIVAS ENSAYO DE LA RESISTENCIA AL INTEMPERISMO ACELERADO**, se asigna una calificación cualitativa de caleo No. 6 el cual fue mínimo, el mismo que fue tomado de 3 partes distintas de la placa ya que el óxido se dispersó en toda la superficie.

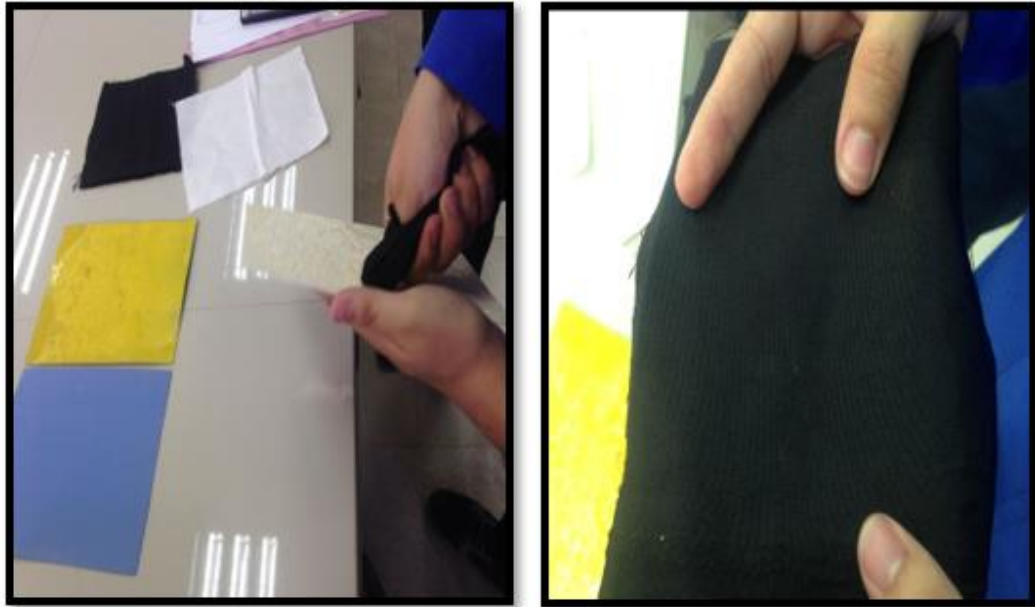
PLACA 2 (AZUL)



Fotografía 19-3. Prueba de Caleo de la placa azul
Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

En la segunda placa, que fue en la que se utilizó pintura anticorrosiva, se puede notar que esta no sufrió un ataque alguno, por lo que no se presencia ningún daño en su estructura y decoloración en su superficie, asignando un valor de caleo N°8.

PLACA 3 (BLANCA)



Fotografía 20-3. Prueba de Caleo de la placa blanca
Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

En esta placa, al igual que la segunda de color azul y pintura anticorrosiva, no se pudo apreciar decoloración en su superficie, pero si daño en su estructura por lo que su calificación tiene un valor de caleo N°8.

- Resultados de la prueba de caleo y decoloración

Tabla 17-3. Resultados grado de caleo y decoloración

PLACA DE ACERO INOXIDABLE	GRADO DE CALEO	DECOLORACION
PLACA 1 (AMARILLA)	No. 6	MINIMA
PLACA 2 (AZUL)	No. 8	NINGUNA
PLACA 3 (BLANCA)	No. 8	NINGUNA

Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

TECNICA 3: DETERMINACIÓN DE HERRUMBRAMIENTO Y AMPOLLAMIENTO HERRUMBRAMIENTO

Para la determinación del grado de herrumbramiento, se aplica el siguiente procedimiento. Comparar la superficie del espécimen de prueba con los patrones fotográficos correspondientes, informando el área oxidada de la placa y la frecuencia de los puntos de corrosión.

Evaluación de los grados de herrumbramiento

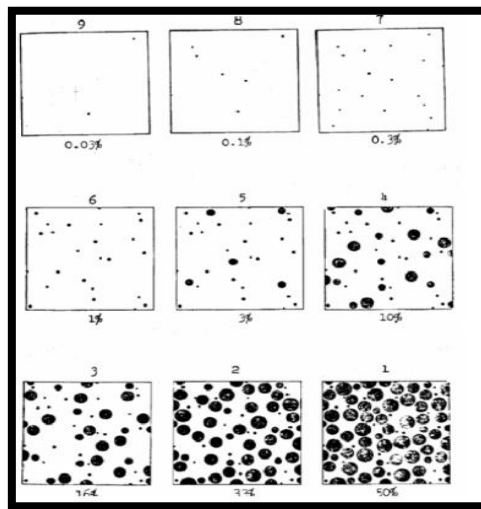


Figura 24-3. Patrón fotográfico para prueba de herrumbramiento.
Fuente: Norma NTE INEN 1032

En caso de no poseer los patrones fotograficos de comparacion, se puede usar esta tabla calificando como 10 que no se dio la presencia de oxido en el espécimen expuesto al equipo, y 0 como un herrumbramiento total en un 100%

Escala y descripción de los grados de herrumbramiento

GRADO DE HERRUMBRAMIENTO	DESCRIPCION
10	No hay óxido, o menos del 0.01% del área está oxidada
9	Oxido mínimo, menos del 0.03% del área
8	Puntos aislados de oxidación, menos de 0.1% del área está oxidada
7	Menos del 0.3% del área está oxidada
6	Gran cantidad de puntitos de oxidación, y al menos del 1% del área está oxidada
5	3% del área oxidada
4	10% del área oxidada
3	16% del área oxidada
2	Aproximadamente un 33% del área oxidada
1	Aproximadamente un 50% del área oxidada
0	Aproximadamente el 100% del área oxidada

Figura 25-3. Escala de Herrumbramiento.
Fuente: Norma NTE INEN 1032

PLACA 1 (AMARILLA)



Fotografía 21-3. Resultado de herrumbramiento de la placa amarilla

Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

Luego del procedimiento realizado en la Cámara de Envejecimiento Acelerado, se procede a calificar la placa que fue atacada bruscamente en el equipo, en la misma se observa que si existe herrumbramiento tanto en la parte inferior y superior, dando una calificación de 10% en grado de herrumbramiento.

PLACA 2 (AZUL)



Fotografía 22-3. Resultado de herrumbramiento de la placa azul
Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

En la segunda placa, se encuentra recubierta de pintura anticorrosiva, la cual resistió al ataque ambiental producido en el interior de la Cámara de Envejecimiento Acelerado, no sufrió un desgaste ni daño alguno dando una calificación de 0.03% en grado de herrumbramiento.

PLACA 3 (BLANCA)



Fotografía 23-3. Resultado de herrumbramiento de la placa blanca
Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

Esta placa fue la que más sufrió un ataque agresivo y desgaste de su estructura, pudiendo apreciar en la imagen la cantidad de herrumbramiento que se da a nivel de toda la superficie del espécimen, dando una calificación de grado de herrumbramiento de 33%.

AMPOLLAMIENTO.

Para esta determinación se la realiza por comparación visual de los especímenes contra los patrones fotográficos aplicando el siguiente procedimiento.

1. Detectar el tamaño y la frecuencia de las ampollas.
2. Medir las ampollas con una escala arbitraria que va de 0 hasta el 10, en la cual el número 10 indica que no hubo ampollamiento, el número 8 indica el tamaño de la ampolla más pequeña que se puede observar a simple vista y, así, sucesivamente, se baja en la escala de valores.
3. Para medir la frecuencia, considerar las siguientes calificaciones, dependiendo de la cantidad de ampollas, y se denominan como sigue:
 - a) denso (D),
 - b) medio denso (M.D.),
 - c) medio (M),
 - d) poco (P).

Evaluación de los grados de ampollamiento (tamaño de ampolla No. 2)

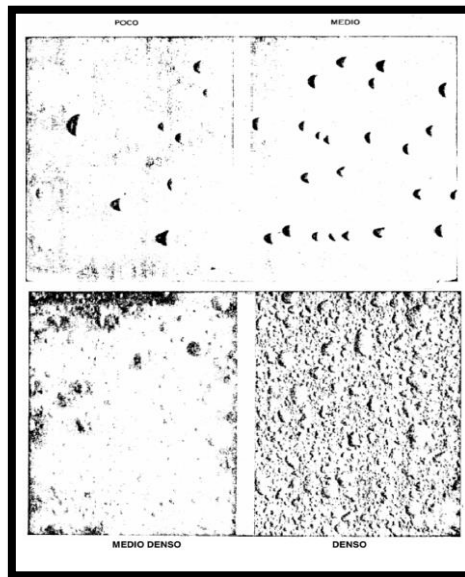


Figura 26-3. Patrón fotográfico de grados de ampollamiento tamaño de ampolla No 2.

Fuente: NTE INEN 1032

Evaluación de los grados de ampollamiento (tamaño de ampolla No. 4)

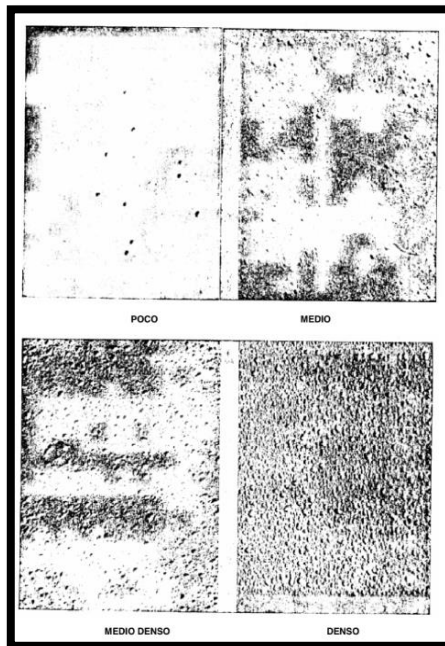


Figura 27-3. Patrón fotográfico de grados de ampollamiento tamaño de ampolla No 4.
Fuente: NTE INEN 1032

Evaluación de los grados de ampollamiento (tamaño de ampolla No. 6)

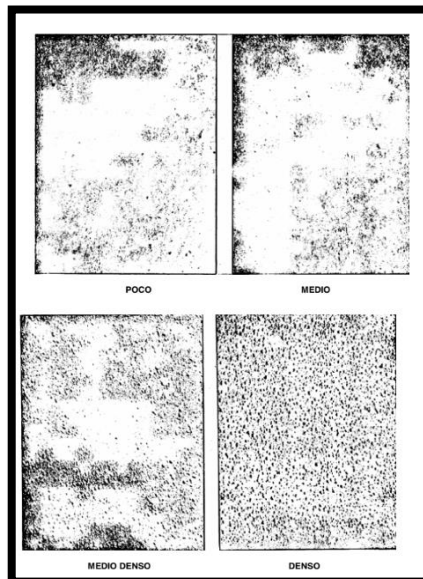


Figura 28-3. Patrón fotográfico de grados de ampollamiento tamaño de ampolla No 6.
Fuente: NTE INEN 1032

Evaluación de los grados de ampollamiento (tamaño de ampollamiento No.8)

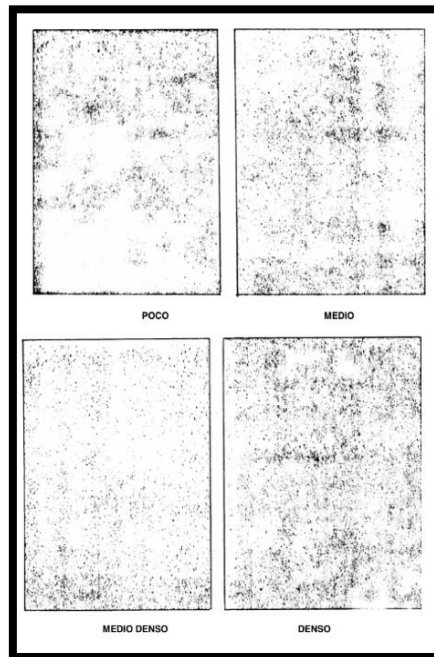


Figura 29-3. Patrón fotográfico de grados de ampollamiento tamaño de ampolla No 8.

Fuente: NTE INEN 1032

PLACA 1 (AMARILLA)



Fotografía 24-3. Resultado del ampollamiento placa amarilla

Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

Una vez terminada la práctica, se puede observar en la placa las diferentes ampollas formadas en la superficie del espécimen, que al ser comparada con los patrones fotográficos; se le asigna un valor de tamaño de ampolla 2 con un grado de ampollamiento Medio Denso (MD).

PLACA 2 (AZUL)



Fotografía 25-3. Resultado del ampollamiento placa azul
Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

Esta placa no posee formación de ampollas en la superficie del espécimen, por tal razón, no se le puede dar una calificación.

PLACA 3 (BLANCA)



Fotografía 26-3. Resultado del ampollamiento placa blanca
Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

En esta placa se presencia diferentes ampollas que se forman en toda la superficie del espécimen, calificandolo por el tamaño de la misma que, al compararlo con los patrones fotográficos, un tamaño de ampolla 2, igual que el espécimen amarillo, pero con un grado de ampollamiento Denso (D)

- Resultados de herrumbramiento y ampollamiento

Tabla 18-3. Resultados grado de herrumbramiento y ampollamiento

PLACAS DE ACERO INOXIDABLE	GRADO DE HERRUMBRAMIENTO	AMPOLLAMIENTO
PLACA 1 (AMARILLA)	10%	MEDIO DENSO (D)
PLACA 2 (AZUL)	0.03%	-----
PLACA 3 (BLANCA)	33%	DENSO (D)

Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

3.3.4. Análisis de resultados

Luego de haber cumplido las 200 horas de exposición en el equipo, como dicta la norma **NTE INEN 1032 PINTURAS ANTICORROSIVAS ENSAYO DE LA RESISTENCIA AL INTEMPERISMO ACELERADO**, se comprueba la funcionalidad y eficacia de la cámara construida, pues al culminar con las técnicas de laboratorio establecidas con los estudiantes de séptimo semestre de la carrera de Ingeniería Química de la ESPOCH, los resultados corresponden a lo esperado, ya que la placa de prueba con pintura anticorrosiva es la que menos corrosión presenta; tanto en la pérdida de peso como en los resultados visuales cualitativos.

La pérdida de peso de las placas con pintura susceptible a la corrosión es mayor, lo que indica que la cámara sirve efectivamente para comprobar la calidad de pintura y demostrar si la misma es o no anticorrosiva, se puede demostrar con los valores obtenidos comparando el peso perdido de la placa azul anticorrosiva de 0.09 gramos, que corresponde al 0.0094% de porcentaje de pérdida; con los valores de pérdida de peso de las placas blanca 0.43 gramos y amarilla 1.2 gramos, que corresponden al 0,42% y 1.242 % de porcentaje de pérdida de peso respectivamente.

En cuanto a los resultados cualitativos, es fácil apreciar que la placa con pintura anticorrosiva (azul) no muestra deterioro una vez finalizada la práctica, sin embargo, las placas blanca y amarilla de pintura común, presentan herrumbramiento, caleo, ampollamiento y decoloración.

Por lo tanto, la cámara en envejecimiento acelerado ayuda a entender los efectos corrosivos, reproduce efectos corrosivos del medio ambiente y a despertar el interés por esta materia.

3.4. Requerimientos de Tecnología, equipos y maquinaria

Tabla 19-3. Requerimientos para la construcción

NECESIDAD TECNOLÓGICA	EQUIPO
Suelda	Soldadora
Remaches	Remachadora
Lector de temperatura, presión y humedad	Caja de control
Suministrador de luz ultravioleta y calor	lámparas de Irradiancia espectral
Control de temperatura	PID con termocupla tipo K
Control de presión	Manómetro
Control de humedad	Termohigrómetro
Medición de radiación	Radiómetro

Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

Tabla 20-3. Requerimientos para el funcionamiento

NECESIDAD	MATERIAL
Probetas no metálicas	Madera, polímeros, etc.
Energía eléctrica	Voltaje 110V
Agua	Agua potable

Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

3.5. Análisis de Costo/beneficio del proyecto

Tabla 21-3. Presupuesto del proyecto

PRESUPUESTO			
ACTIVIDAD	MONTO	FUENTE DE FINANCIAMIENTO	
		INTERNA	EXTERNA
COSTOS DE MATERIAL DEL EQUIPO			
Cámara hermética (Acero Inoxidable)	\$1200	X	
Conexiones eléctricas	\$300	X	
Manómetro	\$20	X	
Lámparas de radiación UV	\$500	X	
Termohigrómetro	\$100	X	
Ventrol/Compresor	\$65	X	
Aspersores	\$56	X	
Cierre hermético de lámparas	\$50	X	
Tanque reservorio de agua	\$60	X	
Parrilla sujetadora de muestras	\$100	X	
Presurizador de agua	\$60	X	
Acoples, uniones y válvulas	\$80	X	
SUBTOTAL	\$2591		
MANO DE OBRA			
Mano de obra	\$1000	X	
SUBTOTAL	\$1000		
MATERIAL DE OFICINA			
Copias	\$15,00	X	
Impresiones	\$25,00	X	
Anillados	\$10	X	
Empastados	\$75	X	
SUBTOTAL	\$125		
MATERIALES DE PRUEBA			
Especímenes de prueba	\$30	X	
SUBTOTAL	\$30		
VARIOS			
Movilización	\$100	X	
Hospedaje	\$120	X	
SUBTOTAL	\$220		
TOTAL	\$3966		

Realizado por: Daniela Cabezas, Enrique Mejía, 2018

Al analizar el costo de construcción e implementación para este proyecto se puede estimar que el valor es relativamente cómodo, a diferencia de las cámaras de envejecimiento acelerado que

se encuentran en el mercado a nivel industrial, ya que pueden alcanzar valores desde los 8.000 dólares hasta los 45.000 dólares dependiendo de las características de los equipos. Tomando en cuenta que el diseño y construcción del equipo, cumple con todos los estándares al igual que una maquina más compleja construida para la industria.

Está hecha para satisfacer las necesidades de los estudiantes y adaptándose así a la economía de estudiantes, generando un ahorro en costos tanto en materiales como en el ensamblaje así como también menores costos por falla del equipo ya que los materiales no son tan costosos y lo más importante que son fáciles de conseguir a comparación de una maquina comprada que sus repuestos son complejos de conseguir y muchos de los casos dejan de funcionar por no estar en existencia la pieza faltante o en el peor de los casos solo se las encuentra en otros países bajo pedido lo que trae consigo más gastos.

Con la existencia de este equipo en el laboratorio se despertará la curiosidad en los estudiantes, de esta manera podrán entender cómo ocurren los fenómenos de intemperismo y como estos afectan la estructura del material expuesto en el interior de la Cámara.

3.6. Cronograma de ejecución del proyecto

Las actividades realizadas en la ejecución y elaboración del proyecto están descritas en el siguiente cronograma que está dividido en varios meses desde la recopilación de información hasta la validación y entrega del equipo.

TIEMPO ACTIVIDADES	MES																			
	1				2				3				4				5			
	SEMANAS																			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Revisión bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Elaboración de anteproyecto	■	■																		
Presentación y aprobación de anteproyecto			■																	
Diseño del equipo			■	■																
Construcción de la cámara de envejecimiento acelerado para materiales no metálicos					■	■	■	■												
Realización de pruebas de funcionamiento									■	■										
Análisis de información										■										
Elaboración de manual y técnica del equipo											■	■								
Validación del equipo													■							
Elaboración del borrador de la tesis														■	■					
Corrección del borrador de la tesis																■				
Tipiado del trabajo final																■	■			
Empastado y presentación del trabajo final																		■		
Auditoría Académica																			■	
Defensa del trabajo																			■	

DISCUSION DE RESULTADOS

Dentro de la ejecución del diseño y construcción del equipo surgen dos inconvenientes, acarreado la necesidad de cambiar ciertos aspectos de la norma ecuatoriana NTE INEN 1032, por el hecho de que esta norma es del año 1984. En ese entonces muchos de los dispositivos que se encuentran en la cámara en envejecimiento acelerado no existían. El primero de ellos y tal vez el más importante es la fuente de luz, la norma ecuatoriana de 1984 solicita lámparas de arco-carbón, las mismas que fueron dadas de baja por la cantidad de nuevas lámparas con mejor eficiencia. Por lo que obligadamente se debe utilizar otro tipo de lámparas basándose en la norma ASTM G 154-06, en la cual se indica el uso de lámparas ultravioleta que se encuentren dentro del espectro UVA-340 o UVB-313.

Las lámparas utilizadas para este equipo tienen picos de radiación ultravioleta que alcanzan los 340 nm lo cual se encuentra dentro de la norma, sin embargo, para que la cámara sea más efectiva es recomendable adquirir lámparas ultravioletas UVA-340 originales de Q-Lab, pues las mismas tienen ondas cortas que van desde los 365nm hasta los 295 nm que es la longitud de onda de corte de luz solar.

El segundo es la eliminación del tambor cilíndrico vertical, pues la norma ecuatoriana exige una revolución por minuto, sin embargo, el diseño realizado permite la exposición homogénea y uniforme en las placas, ahorrando costos de construcción innecesarios.

El diseño se realiza en AutoCAD y las dimensiones se establecen mediante los dispositivos que lleva la cámara, es decir, el largo lo define las lámparas ultravioletas y tanto el ancho como el alto lo define la capacidad de aspersión del chiflón de agua cumpliendo la necesidad de abastecer de forma homogénea a toda la cámara, calculando con las dimensiones apropiadas que cumplan con su ángulo de aspersión.

Luego de que se terminó el diseño y la construcción se procede a realizar la validación, en la cual se asegura el funcionamiento del equipo al obtener los resultados de tres prácticas de laboratorio. La primera que consiste en un análisis cuantitativo de pérdida de peso de las placas: la azul anticorrosiva que disminuye su peso en 0.09 gramos, que corresponde al 0.0094% de porcentaje de pérdida; la placa blanca que disminuye su peso en 0.43 gramos y la amarilla en 1.2 gramos, que corresponden al 0,42% y 1.242 % de porcentaje de pérdida de peso respectivamente. Afirmando el funcionamiento del equipo.

Las otras dos técnicas consisten en análisis cualitativos de las placas en cuanto al ampollamiento, descoloración, herrumbramiento y grado de caleo, mediante la comparación de los patrones fotográficos que brinda la norma NTE INEN 1032 con las placas que han sido expuestas a la cámara de envejecimiento acelerado, obteniendo resultados muy visibles en las placas con pintura regular, y muy poco en la placa anticorrosiva (por ser resistente a la corrosión).

Un aspecto muy importante en la validación del equipo es que las placas ingresadas para las pruebas de pintura son de acero inoxidable, ya que la norma NTE INEN 1032 así lo dicta, y a pesar de que es un acero resistente a la corrosión presenta pérdida de peso. Esto indica que la cámara es suficientemente eficaz como para corroer acero inoxidable. También se puede demostrar esta potencia de la cámara ya que oxida las uniones de la parrilla que sostiene las placas de muestra, por lo que es necesario lijar y quitar la corrosión inmediatamente después de terminar cualquier práctica de laboratorio.

Si se compara los resultados de porcentaje de pérdida de peso de la cámara de envejecimiento acelerado, con una cámara de niebla salina que se encuentra en el mismo laboratorio de corrosión de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; únicamente de las placas de acero que se utilizaron en cada uno de los equipos se puede apreciar que los datos que se arrojaron en ambos equipos fueron los siguientes:

Cámara de niebla salina (acero AISI 1015): 1,43%; 1,74%; 1,15%

Cámara de envejecimiento acelerado (acero AISI 304): 0,0094%; 0,42%; 1,2%

Se observa que en la cámara de niebla salina tiene más porcentaje de pérdida de peso que en la cámara de envejecimiento acelerado debido a las siguientes razones: primero que el acero utilizado para la cámara de niebla salina es el AISI 1015, este no es un acero de tan buena calidad como lo es el acero AISI 304, pues el AISI 304 posee mejores propiedades mecánicas, resistencia al choque térmico y resistencia a la corrosión.

En segundo lugar, la niebla salina es un agente que acelera el ataque de la corrosión debido a que la solución de cloruro de sodio que se utiliza tiene una velocidad de corrosión alta en acero inoxidable, esto se puede verificar mediante el mpy (mili pulgadas por año) que pierde un cupón de acero expuesto a esta solución, para este caso se tiene que el mpy para una solución de 3% de cloruro de sodio es de 1,72. Sin embargo, este dato es para el acero AISI 304, por lo que en el

acero AISI 1015 deberá ser mayor y tomando en cuenta que la solución utilizada para la práctica de niebla salina es de 5%, el mpy aumentará aún más.

El mpy es un índice que expresa la velocidad de corrosión, es un método tradicional que sirve para medir la pérdida de peso que ha experimentado un determinado metal o aleación en contacto con un medio corrosivo. Se puede encontrar el mpy de las placas expuestas en la cámara de envejecimiento acelerado mediante la siguiente ecuación.

$$mpy = \frac{W * 22273}{D * A * T}$$

WL = Peso que pierde el material, en gramos (gr)

D = Densidad del material, en gramos sobre centímetros cúbicos (g/(cm³))

A = Área del material, en pulgadas cuadradas (in²)

T = Tiempo que se expone el material al ambiente corrosivo, en días.

Obteniendo los siguientes resultados:

Placa azul

$$mpy = \frac{0.09 \text{ gr} * 22273}{7.95 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} * 62.77 \text{ in}^2 * 8 \text{ dias}} = \frac{2004.57}{3992.17} = 0.502 \text{ milipulgadas/año}$$

Placa blanca

$$mpy = \frac{0.43 * 22273}{7.95 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} * 62.77 \text{ in}^2 * 8 \text{ dias}} = \frac{9577.39}{3992.17} = 2.399 \text{ milipulgadas/año}$$

Placa amarilla

$$mpy = \frac{1.2 * 22273}{7.95 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} * 62.77 \text{ in}^2 * 8 \text{ dias}} = \frac{26727.6}{3992.17} = 6.695 \text{ milipulgadas/año}$$

La primera placa nos dio un valor menor a las otras dos, ya que la pintura que se usó como recubrimiento era anticorrosiva, reduciendo el ataque corrosivo y protegiendo al metal. La segunda y tercera placa no eran pinturas anticorrosivas, por lo que la velocidad de corrosión es mucho mayor en comparación a la primera placa.

La tercera razón de que el porcentaje de pérdida de peso sea menor que las placas de prueba en la cámara de niebla salina, es que estas no estaban protegidas por ningún recubrimiento de pintura que les protegiera del ataque corrosivo como lo están las placas prueba en la cámara de envejecimiento acelerado.

CONCLUSIONES

- Se determinó variables de proceso a tomar en cuenta al momento del diseño y construcción de la Cámara las cuales fueron: temperatura. factor establecido en base a las normas NTE INEN 1032-84, ASTM G154-06 y ASTM G151-00; la humedad, que acelera la velocidad de una reacción corrosiva y por último la radiación UV ya que ocasiona corrosión y desgaste al material expuesto según el tipo de ciclo que se escoja para la práctica donde variará la humedad y la temperatura.
- Se estableció los dimensionamientos, áreas y accesorios que se utilizaron para la construcción del equipo mediante cálculos ingenieriles, considerando las especificaciones de la normativa INEN NTE 1032-84 en las cuales se detalla el tamaño que tendrán los especímenes prueba (15x21 cm), considerando también las dimensiones de las lámparas UV (70 cm) que determinaron la longitud del equipo, y el ángulo de aspersión del agua del chiflón (120°) que determina la altura y el ancho del equipo.
- Se seleccionó los materiales a usarse en la construcción de la cámara en base a las especificaciones de las normas NTE INEN 1032-84, ASTM G154-06 y ASTM G151-00, para la elaboración de la cámara se ha escogido materiales resistentes contra la corrosión, temperatura y humedad (Acero Inoxidable AISI 304).
- Se realizó un manual de operación, un manual de mantenimiento y limpieza junto con 3 técnicas de laboratorio que fueron entregados a la persona encargada del laboratorio de Corrosión en donde se encuentra la cámara de envejecimiento acelerado.
- Se validó la funcionalidad y eficacia del equipo construido con la asistencia y colaboración de los estudiantes de octavo semestre de la asignatura de corrosión de la carrera de Ingeniería Química de la ESPOCH, en donde se desarrolló la ejecución de 3 técnicas de laboratorio descritas en la norma NTE INEN 1032-84, facilitando el aprendizaje del estudiante de manera práctica en conjunto con la teoría recibida en el aula de clases.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que la exposición de los especímenes en el equipo de intemperismo acelerado permanezca bajo condiciones ambientales un tiempo mínimo de 200 horas y un máximo de 700 horas para evitar daños en la cámara.
- Se recomienda realizar pruebas corrosivas en tiempo real de los especímenes a condiciones ambientales naturales y compararlas con el daño que se produce en el interior de la cámara simulada para así, establecer el tiempo que simula la exposición dentro de la cámara.
- Se recomienda acondicionar a este prototipo por otro tipo de lámparas que permitan simular condiciones ambientales diferentes como el envejecimiento de polímeros.
- Se recomienda que al cumplir la vida útil de las lámparas UV de la cámara y se sustituya por otras nuevas, tener cuidado de no romper debido que contienen un gas tóxico en su interior que puede ser perjudicial para la salud, dañando el ADN de las células de la piel causando cáncer.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Arias Córdoba, Carlos, et al.** “Diseño y construcción de una cámara de niebla salina para ensayos de corrosión”. *Scientia et Technica Año XIII* [En línea], 2007, (Colombia). 36, pp. 659-664. [Consulta: 2018-04-04]. ISSN 0122-1701. Disponible en:
<http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/5045>
2. **BINDER.** *Predicciones sobre el comportamiento de los materiales.* [En línea]. Tuttingen, Alemania: BINDER GmbH, Envejecimiento artificial, 2015. [Consulta: 2018-06-15]. Disponible en:
https://www.binder-world.com/es/content/download/113910/3097340/file/2015_03_wp_Artificial-aging_ES.pdf
3. **Carreto B., Fernando; et al.** *Geografía general.* [En línea]. 6ta edición. Toluca, México: Universidad Autónoma del Estado de México, 2000. ISBN 968-835-474-0. pp. 86-88. [Consulta: 2018-07-02]. Disponible en:
<https://books.google.com.ec/books?id=19SGaLEf0OoC&lpg=PA3&ots=W0l6tkvjG0&dq=geografia%20general%20fernando%20carreto%20bernal&pg=PA2#v=onepage&q&f=false>
4. **CCI. CAMARAS DE ENSAYOS - CCI CONTROL DE CALIDAD.** [En línea]. Barcelona, España: Criogenia bajo tensión, 2011. [Consulta: 2018-05-11]. Disponible en:
<http://www.cci-calidad.com/articulos225.htm>
5. **CCI. Control de calidad. Cámaras de ensayos.** [En línea]. Barcelona, España: 2010 [Consulta: 2018-05-11]. Disponible en:
<http://www.cci-calidad.com/empresa.htm>.
6. **Chico, B. et al.** *Atmospheric corrosion of metals. Effect of meteorological and pollution parameters.* [En Línea]. Madrid, España: Asociación de Químicos del Instituto Químico de Sarrià, 2005. ISSN 0001-9704. pp. 1-15. [Consulta: 2018-04-13]. Disponible en:
http://digital.csic.es/bitstream/10261/75874/4/Corrosi%C3%B3n_atmosf%C3%A9rica_metales_par%C3%A1metros....pdf
7. **Díaz, A; et al.** *Evaluación de la corrosión microbiana en un acero al carbono haciendo uso de técnicas electroquímicas.* [En línea] Congreso Técnico Científico ININ-SUTIN, 2007. pp. 230-233. [Consulta: 2018-03-24]. Disponible en:
https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/33/017/33017199.pdf

8. **DYCOMETAL**. *CÁMARA DE ENSAYOS DE ESTANQUEIDAD A POLVO, SERIE CP*. [En línea]. Barcelona, España: Catálogo, 2014. [Consulta: 2018-04-17]. Disponible en:
<http://www.dycometal.com/catalogo/cp/>
9. **ESPINOSA OROZCO, Daniel**. *Diseño y construcción de una cámara de envejecimiento acelerado por temperatura para polímeros*. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior De Ingeniería Química e Industrias Extractivas, México D.F., México 2007. pp. 15-28. [Consulta: 2018-05-27]. Disponible en:
<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/7338/OROZCO%20ESPINOSA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
10. **Fontana, Mars G**. *Corrosion Engineering*. 3ra edición. New York, USA: McGraw-Hill, 1986. ISBN: 0-07-021463-8. pp. 4-7
11. **Gómez, Félix C**. *Manual básico de corrosión para ingenieros*. Murcia, España: Editorial: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia., 2004. ISBN: 84-8371-506-6 pp. 13-28
12. **Gonzales Fernandez J. A**. *Control de la corrosión Estudio y medida por técnicas electroquímicas*. [En línea] Madrid, España; Consejo Superior de Investigaciones Científicas Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, 1989 [Consulta: 2018-06-01]. Disponible en:
<https://books.google.com.ec/books?id=nh-6LvqnMS8C&pg=PR1&dq=control%20de%20la%20corrosion&pg=PR1#v=onepage&q=control%20de%20la%20corrosion&f=false>
13. **Grossman George William**. *Q-Lab*. [En línea]. [Consulta: 2018-04-13]. Disponible en:
<https://www.q-lab.com/es-es/about/>.
14. **HERNÁNDEZ MARÍN, Melissa**. *Efecto del intemperismo acelerado en el color natural de la madera en clones de tectona grandis linn f. provenientes de las zonas de peñas blancas y garzas*. [En línea] (Trabajo de titulación). (Licenciatura) Instituto Tecnológico De Costa Rica, CARTAGO, COSTA RICA, 2010. [Consulta 2018-04-07]. Disponible en:
<https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/5668/efecto-intemperismo-acelerado-color-madera.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

15. **Johnson, B.; & McIntyre, R.** “Analysis of test methods for UV durability predictions of polymer coatings”. *Progress in Organic Coatings*. [En Línea], 1996, (Reino Unido). Vol. 27. pp. 95-106. [Consulta: 2018-06-12]. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0300944094005257?fbclid=IwAR010Lee1kkMFvhNE0J2DEPq8wQr1tmaPVFj3zyN-Tnhhwu134FpAvMLscQ>
16. **Pancorbo, Francisco J.** *Corrosión, degradación y envejecimiento de los materiales empleados en la edificación*. Barcelona, España: MARCOMBO, 2011. ISBN: 978-84-267-1576-0. pp. 7-19
17. **Q-Lab.** *Cámaras de corrosión cíclica*. [En línea]. Bolton, Inglaterra: Q-FOG, 2013. pp. 2-8. [Consulta: 2018-03-28]. Disponible en:
<https://www.q-lab.com/documents/public/fadf2014-60d7-4157-ba34-207ee6bdfffd.pdf?ReturnUrl=/es-es/resources/brochures.aspx>
18. **Royo, Ochoa M.; et al.** *El intemperismo y las rocas en la construcción*. Xalapa, Veracruz, México: 4° Congreso Nacional ALCONPAT 2010, 2010. ISBN: 978-607-95042-5-0 pp. 33.
19. **TURBI MOJICA Mayibell.** *Degradación acelerada en cámara climática de superficies de madera con diferentes tratamientos y comparación con la degradación natural a largo plazo*. [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Politécnica De Cataluña, Barcelona, España. 2015. Pp. 7-13. [Consulta: 2018-05-23]. Disponible en:
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/88242/TFM%20Mayibel%20Turbi%20Mojica.pdf>