

**FABRICACIÓN DE UN ADITIVO ANTICORROSIVO MEDIANTE LA EXTRACCION  
DE POLIFENOLES DE MATERIAL ORGÁNICO RESIDUAL**

**CRISTIAN DAVID CALERO SANCHEZ**

**BRAYAN STEVEN PULIDO ROBAYO**

**Proyecto Integral de Grado para optar al título de  
INGENIERO QUÍMICO**

**Orientador**

**David Leonardo Sotelo Tobón**

**MSc. cPhD.**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**BOGOTÁ D.C**

**2023**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

Nombre  
Firma del director

---

Nombre  
Firma del presidente Jurado

---

Nombre  
Firma del Jurado

---

Nombre  
Firma del Jurado

**Bogotá D.C febrero de 2023**

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decana Facultad de Ingenierías

Dra. Naliny Patricia Guerra Prieto

Director(a) de Ingeniería Química

ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

**Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de grado principalmente a Dios por haberme permitido conocer una carrera tan bonita como lo es la ingeniería química. Por haberme dado la sabiduría y la fuerza necesarias para completar uno de los logros más importantes que marcaran el inicio de mi vida profesional.

A mis padres, Hugo Alfonso Calero Ramírez y Your Mery Sánchez Torres, por haberme apoyado a lo largo de toda mi vida y no haber dudado en ser partícipes de mi proceso desde el primer momento en el que elegí esta carrera. Gracias a su apoyo incondicional es que logre cumplir mis objetivos fijados a lo largo de estos 5 años, pasando por momentos de felicidad y tristeza, esto es para ellos, que han sido mis mayores consejeros y profesores, para ellos que siempre están y estarán para mí.

A mis amigos y familiares, a todos los parceros que conseguí a lo largo de mi vida como estudiante, a Cesar, Ofid, Carlos, Santiago, Daniel, Alison, Brayan, Tatiana, Nicole y demás, con quienes crecí de forma personal y aprendí muchas cosas en este periodo de tiempo, quienes me apoyaron y se convirtieron en mi familia, esto es para ustedes mis panas.

A mi tía Elvia Maria Calero Ramírez, quien no estuvo conmigo para verme convertido en ingeniero, pero sé que donde este, me acompaña en este proceso y estará conmigo el día que reciba mi título profesional, esto es para ti tía.

Y a mi compañero de tesis Brayan Steven Pulido Robayo, con quien pasamos por muchas dificultades y baches, pero logramos finalizar el proyecto y entregarlo de forma satisfactoria.

A todos, gracias.

***CRISTIAN DAVID CALERO SANCHEZ***

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de grado principalmente a mi bisabuela Irma María Torres de Peña por haberme guiado en cada una de las diferentes etapas de mi vida, a mis padres Luis Eduardo Pulido Diaz y Sandra Constanza Robayo Peña, agradezco el apoyo incondicional que me brindaron en todos los proyectos que he realizado de mi vida y motivarme a seguir nuevos proyectos.

A mi hermana Allison Tatiana Pulido Robayo que siempre ha estado acompañándome en los momentos de alegría y en los momentos difíciles siempre ofreciéndome su comprensión y cariño para superar las dificultades.

A mi novia Gabriela Rojas Castro en quien hallé un soporte en los momentos más duros, me ha ayudado a exigirme y superar todos los obstáculos que he pasado durante mi proceso universitario.

A mi compañero de tesis Cristian David Calero Sánchez porque a pesar de las dificultades y obstáculos que se nos presentaron, logramos finalizar este proyecto.

***BRAYAN STEVEN PULIDO ROBAYO***

## AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente proyecto expresan sus agradecimientos a:

Dios, por habernos dado la vida y permitirnos llegar al inicio de nuestra vida profesional.

Nuestros padres, por habernos guiado a lo largo del proceso de aprendizaje y habernos apoyado en todo sentido hasta llegar a la culminación de nuestros estudios de pregrado para convertirnos en profesionales capaces.

Nuestros profesores, quienes nos dieron las bases para el entendimiento de la carrera y establecieron los principios que nos llevaron a la realización de esta investigación

Nuestro director, David Leonardo Sotelo Tobón, quien nos dio la guía a lo largo de este semestre para poder entregar este proyecto de forma satisfactoria y cumpliendo con los requisitos mínimos que se debían tener.

La Universidad de América, Por haber sido nuestro almamater, nuestro hogar durante estos 5 años de formación.

Nuestros orientadores, Oscar Chamarravi Guerra y la ingeniera Yenny Hernández, quienes nos dieron su apoyo en la realización de las pruebas y ensayos efectuados en las instalaciones de la universidad.

Y a todas aquellas personas que contribuyeron en la culminación exitosa de este proyecto integral de grado.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	14
INTRODUCCIÓN	16
JUSTIFICACIÓN	17
OBJETIVOS	18
1. MARCO TEÓRICO	19
1.1. Corrosión	19
1.2. Tipos de corrosión	20
1.2.1. Corrosión generalizada	20
1.2.2. Corrosión localizada	21
1.2.3. Corrosión galvánica o entre dos metales	22
1.2.4. Corrosión por picadura o pitting	23
1.2.5. Corrosión por grietas o fisuras	24
1.2.6. Corrosión intergranular	25
1.2.7. Corrosión por cavitación	26
1.2.8. Corrosión microbiológica	27
1.2.9. Corrosion efectuada por fenómenos físicos	28
1.2.10. Corrosión erosiva	28
1.2.11. Corrosión por tensión	29
1.2.12. Otros tipos de corrosión	30
1.3. Velocidad de corrosión	31
1.4. Polarización	31
1.5. ¿Como medir la velocidad de corrosion?	31
1.5.1. Método de pérdida de peso	31
1.5.2. Técnica de extrapolación de Tafel	33
1.5.3. Técnica de resistencia a la polarización	34
1.6. Factores que influyen en la corrosión	35
1.6.1. Temperatura	35
1.6.2. Acidez de la solución de exposición	35
1.6.3. Sales disueltas	36

1.6.4. Capas protectoras	36
1.6.5. Concentración de oxígeno	36
1.7. Control y protección de la corrosión	36
1.7.1. Anticorrosivo	37
1.7.2. Inhibidor de corrosión	37
1.7.3. Tipos de inhibidores	38
1.7.4. Recubrimientos	40
1.7.5. Tipos de recubrimientos	41
1.7.6. Partes de un recubrimiento	41
1.8. Polifenoles	42
1.9. Química verde	44
1.10. Método de extracción por soxhlet	45
1.11. Mangifera indica	46
1.11.1. Árbol	47
1.11.2. Semilla	47
1.11.3. Fruto	47
1.12. Cámara de niebla salina	48
1.13. Marco legal y normativo	49
1.13.1. Norma ASTM B117 ( <i>Practica estándar para el funcionamiento de los equipos de niebla salina</i> )	49
1.13.2. Norma ASTM D3359 ( <i>Métodos de prueba estándar para la clasificación de la adhesión o prueba de adherencia por el método de cinta</i> )	50
1.13.3. Norma técnica colombiana NTC 1156	50
1.13.4. Norma ISO 12944	50
2. METODOLOGÍA Y EXPERIMENTACIÓN	51
2.1. Cuadro comparativo para la selección del material orgánico que se utilizara en la producción del anticorrosivo	51
2.1.1. Composición de los frutos	55
2.1.2. ¿Por qué estas frutas?	60
2.2. Matriz de selección del material orgánico	61
2.2.1. Verificación del material orgánico residual para la fabricación del aditivo	67
2.3. Pretratamiento del sustrato	68
2.4. Extracción de polifenoles mediante el método Soxhlet	74

2.5. Determinación de polifenoles totales con el método de Folin – Ciocalteu	76
2.5.1. <i>¿De qué trata?</i>	76
2.5.2. <i>Procedimiento</i>	79
2.5.3. <i>Curva de calibración</i>	87
2.6. Formulación de la pintura	90
2.7. Ensayo de corrosión acelerada por cámara de niebla salina	93
2.7.1. <i>Procedimiento</i>	94
2.8. Prueba de adherencia	97
3. DISEÑO DE PRODUCCIÓN DEL INHIBIDOR DE CORROSIÓN	99
3.1. Descripción del proceso de producción del aditivo anticorrosivo	99
3.2. Esquematización del proceso	100
3.3. Implementación de los 12 principios de la química verde	106
3.4. Análisis financiero de la producción de la pintura	110
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES	114
4.1. Extracción de polifenoles mediante el método Soxhlet	114
4.2. Determinación de polifenoles totales	116
4.3. Formulación de pintura	117
4.4. Prueba de corrosión en cámara de niebla salina.	118
4.4.1. <i>Análisis de las laminas</i>	118
4.4.2. <i>Efecto directo de la temperatura y el tiempo durante el ensayo</i>	120
4.4.3. <i>Cálculo de las velocidades de corrosión</i>	121
4.5. Prueba de adherencia.	122
5. CONCLUSIONES	124
BIBLIOGRAFÍA	126
ANEXOS	139

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 1.</b> Representación del fenómeno de la corrosión	20
<b>Figura 2.</b> Corrosión generalizada en un mecanismo	21
<b>Figura 3.</b> Corrosión en puntos específicos de un metal	22
<b>Figura 4.</b> Representación de corrosión galvánica	23
<b>Figura 5.</b> Representación de la formación de una picadura en una lámina de acero	24
<b>Figura 6.</b> Representación de un sistema de corrosión por grietas	25
<b>Figura 7.</b> Representación de un sistema de corrosión intergranular	26
<b>Figura 8.</b> Corrosión por cavitación en una aleta metálica	27
<b>Figura 9.</b> Representación de la corrosión microbiológica	28
<b>Figura 10.</b> Corrosión erosiva presente en un codo de 90°	29
<b>Figura 11.</b> Corrosión debida a la tensión	30
<b>Figura 12.</b> Curva de polarización experimental para la determinación de la región de tafel	34
<b>Figura 13.</b> Bidón de ácido nítrico	35
<b>Figura 14.</b> Pintura anticorrosiva	37
<b>Figura 15.</b> Clasificación de los inhibidores	39
<b>Figura 16.</b> Representación del grupo fenol	42
<b>Figura 17.</b> Representación de los polifenoles (Acido tánico)	44
<b>Figura 18.</b> Representación de la extracción con soxhlet	46
<b>Figura 19.</b> Morfología del mango	48
<b>Figura 20.</b> Cámara de niebla salina	49
<b>Figura 21.</b> Cuadro comparativo de frutas con potencial antioxidante	52
<b>Figura 22.</b> Matriz de decisión de material orgánico	62
<b>Figura 23.</b> Mango común y su semilla	68
<b>Figura 24.</b> Corte efectuado para liberar la almendra	69
<b>Figura 25.</b> Guillotina de laboratorio	70
<b>Figura 26.</b> Almendra del mango retirada del endocarpio leñoso y limpia	71
<b>Figura 27.</b> Almendra de mango procesada y empacada en un envase esterilizado	72
<b>Figura 28.</b> Almendra de mango lista para el proceso de extracción de polifenoles	73
<b>Figura 29.</b> Diagrama de flujo del proceso de extracción soxhlet	74
<b>Figura 30.</b> Medida en balanza a 4 cifras significativas	75
<b>Figura 31.</b> Tres montajes soxhlet en serie	75
<b>Figura 32.</b> Mecanismo de acción del reactivo Folin-Ciocalteu	77

<b>Figura 33.</b> Ejemplo de la curva de calibración por absorbancia	78
<b>Figura 34.</b> Diagrama de flujo del proceso de preparación de soluciones con Folin-Ciocalteu	79
<b>Figura 35.</b> Muestras listas para secado en el horno	80
<b>Figura 36.</b> Muestras después del secado	80
<b>Figura 37.</b> Acido gálico pesado y solución stock	82
<b>Figura 38.</b> Peso de la muestra seca y solución con polifenoles	84
<b>Figura 39.</b> Tubos de ensayo con los reactivos después de 2 horas de reposo	86
<b>Figura 40.</b> Diagrama de flujo para la generación de la curva de calibración	87
<b>Figura 41.</b> Curva de calibración de polifenoles	89
<b>Figura 42.</b> Diagrama de flujo del proceso de síntesis de la pintura	92
<b>Figura 43.</b> Aspecto y proceso de homogenización de pintura.	93
<b>Figura 44.</b> Diagrama de flujo del proceso de exposición en cámara salina	94
<b>Figura 45.</b> Lamina de acero al carbon sin ningún recubrimiento.	95
<b>Figura 46.</b> Laminas con el recubrimiento	96
<b>Figura 47.</b> Diagrama BFD producción de la pintura anticorrosiva.	101
<b>Figura 48.</b> Equipos que pueden efectuar el proceso	102
<b>Figura 49.</b> Silo	102
<b>Figura 50.</b> Descascaradora	103
<b>Figura 51.</b> Lavadora de frutas	103
<b>Figura 52.</b> Deshidratador de alimentos	104
<b>Figura 53.</b> Triturador de alimentos	104
<b>Figura 54.</b> Filtro	105
<b>Figura 55.</b> Extractor solido- liquido	105
<b>Figura 56.</b> Tanque mezclador	106
<b>Figura 57.</b> Diagrama PFD producción de la pintura anticorrosiva	108
<b>Figura 58.</b> Peso de los beakers vacíos.	114
<b>Figura 59.</b> Toma de masa de los beakers con el extracto	115
<b>Figura 60.</b> Homogeneización de la pintura	117
<b>Figura 61.</b> Laminas después de ser sometidas al ambiente corrosivo	119
<b>Figura 62.</b> Prueba de adherencia	122
<b>Figura 63.</b> Resultados de la prueba de adherencia	123

## LISTA DE TABLAS

	<b>pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Composición de la naranja	56
<b>Tabla 2.</b> Composición del mango	57
<b>Tabla 3.</b> Composición del limón	58
<b>Tabla 4.</b> Composición del arándano	59
<b>Tabla 5.</b> Composición del maracuyá	60
<b>Tabla 6.</b> Resumen de datos del pretratamiento de la fruta	73
<b>Tabla 7.</b> Especificaciones de extracción para los montajes soxhlet	76
<b>Tabla 8.</b> Materiales y equipos requeridos para el ensayo de determinación de fenoles	81
<b>Tabla 9.</b> Curva patrón de ácido gálico a partir de una solución de 100 ppm	83
<b>Tabla 10.</b> Cantidades utilizadas de reactivos para la determinación de la curva	85
<b>Tabla 11.</b> Datos obtenidos del espectrofotómetro	88
<b>Tabla 12.</b> Tabla de una formulación general de una pintura base aceite	90
<b>Tabla 13.</b> Tabla de la formulación de la pintura	91
<b>Tabla 14.</b> Recubrimientos utilizados	95
<b>Tabla 15.</b> Peso de las láminas previo al ensayo	97
<b>Tabla 16.</b> Condiciones de operación	100
<b>Tabla 17.</b> Balance de masa aplicado al diagrama PFD	109
<b>Tabla 18.</b> Costos de reactivos	110
<b>Tabla 19.</b> Costos de equipos	111
<b>Tabla 20.</b> Índices de precios al consumidor	112
<b>Tabla 21.</b> Costos indirectos de producción	112
<b>Tabla 22.</b> Datos necesarios para la determinación másica de extracto obtenido	115
<b>Tabla 23.</b> Propiedades de la pintura observadas	117
<b>Tabla 24.</b> Cálculo de velocidades de corrosión	121

## RESUMEN

El fenómeno de la corrosión es una problemática que afecta estructuras metálicas por las condiciones a las cuales se exponen las mismas (generalmente las condiciones que implican los procesos industriales no son tan favorables con estructuras y equipos que desempeñen labores de almacenamiento, transporte, mezclado, etc. de sustancias químicas). Para ayudar a contrarrestar el deterioro que suponen estos procesos se han creado recubrimientos/revestimientos o pinturas que protegen las superficies del impacto que tiene el entorno sobre ellas.

Las pinturas anticorrosivas tradicionales están elaboradas con aditivos que les confieren propiedades antioxidantes, lo que promueve la disminución en las velocidades de corrosión sobre el material que se está utilizando. Estos aditivos tradicionales como los silicatos, Cromato de Zinc, y EDTA (Acido etilendiaminotetraacético) en uso excesivo o por acumulación de desechos representan peligrosidad carcinogénica (sobre todo el Cromato de Zinc) y problemas ambientales por errores en el almacenamiento.

Se han realizado análisis concernientes a la extracción de compuestos antioxidantes derivados de material orgánico con el fin de encontrarles un uso potencial a nivel industrial, para efectos de la presente investigación, como inhibidores de corrosión orgánicos.

El fin del presente proyecto fue el de sintetizar una pintura o recubrimiento que proteja superficies de metal (acero al carbon) mediante la selección del material orgánico por revisión bibliográfica, luego aplicar un proceso de extracción del compuesto antioxidante (polifenoles) realizando la metodología soxhlet (extracción solido-liquido). El extracto derivado del proceso se tuvo que analizar con el método de cuantificación de polifenoles con el reactivo de Folin – Ciocalteu para poder comprobar que la materia orgánica (residual en este caso) cuenta con el compuesto necesario para la elaboración de la pintura o revestimiento protector.

Luego de comprobar que, experimentalmente, el sustrato seleccionado funciona como aditivo antioxidante, se procede a realizar la formulación de la pintura, y las pruebas de resistencia de la misma.

Finalmente se determinaron las velocidades de corrosión haciendo una comparación entre varios revestimientos, junto con el diseño del proceso en escala piloto, además del análisis de costos, el análisis de resultados y conclusiones del proyecto.

**Palabras clave:** Corrosión, estructura, anticorrosivo, revestimiento, pintura, polifenoles, Folin – Ciocalteu, protección, aditivo, velocidades de corrosión.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria tiene que lidiar con un fenómeno de deterioro que altera las propiedades de un metal debido a condiciones adversas a las cuales es sometido (corrosión), haciendo que el mismo se dañe y lleve a presentar fallas gradualmente en el sistema en el cual este implementado.

De acuerdo con NACE internacional, se estima que los costos asociados a los problemas que causa la corrosión son de 2.5 billones de dólares, lo que equivale al 3.4% del PIB mundial<sup>1</sup> (en Colombia, las pérdidas ascienden a más de 26 mil millones de pesos, o el 4% del PIB), siendo el acero la principal aleación afectada. Cabe mencionar que la industria está constituida en un 70% de acero en distintas composiciones, y que, haciendo una aproximación, de 10 toneladas fabricadas de esta aleación, anualmente se pierden 2 toneladas por daños debidos a este fenómeno, Por esta razón se han buscado formas de controlar el avance de la oxidación de los metales para no tener que incurrir en gastos elevados debido a los daños que estos pueden producir sobre proyectos de gran importancia [1].

En Colombia, asociaciones y empresas como ACICOR y ASTECO, buscan capacitar ingenieros y técnicos para que puedan evaluar, analizar y tratar la corrosión, sin embargo, aún no se han realizado estudios relevantes derivados de material orgánico, o residuos de estos, pero si se han encontrado propiedades potenciales de uso industrial para la generación de productos con viabilidad económica y ambiental.

## JUSTIFICACIÓN

La elaboración de este proyecto es importante debido al aprovechamiento la materia orgánica como sustrato principal para la elaboración de el recubrimiento, película o actor inhibidor de la corrosión en compuestos metálicos; con aprovechamiento se hace referencia a la investigación derivada de la caracterización de la materia prima orgánica (que puede ser residual), los componentes de importancia primigenia como lo son polifenoles, taninos, antioxidantes y otras sustancias que puedan funcionar en el desarrollo de la formulación del compuesto, así como también se podría llegar a pensar en la generación de una economía circular a partir del aprovechamiento máximo de algunos residuos orgánicos.

En el ámbito del desarrollo científico se podría evaluar una nueva gama de compuestos inhibidores de la corrosión diferentes a los que se pueden ver comercialmente (silicatos de sodio y EDTAs) suponiendo varias metodologías de análisis de velocidades de oxidación en determinados materiales.

En cuanto a la ingeniería química como el rubro principal al cual aspiran los autores del presente proyecto, se desarrollarían nuevas alternativas para formular compuestos capaces de reducir la velocidad de oxidación, así como también se podría realizar un diagnóstico y evaluación de la condiciones técnicas y operativas que se deberían implementar en el proceso con el fin de optimizarlo, y, en caso de que la formulación sea la adecuada ser capaces de llevar este proceso a escala industrial.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Obtener un aditivo para evitar la corrosión en láminas de acero usando material orgánico residual como materia prima.

### **Objetivos Específicos**

1. Seleccionar el material orgánico residual para la obtención de polifenoles.
2. Determinar la efectividad anticorrosiva de un aditivo con polifenoles extraídos de material orgánico residual.
3. Proponer el diseño para la producción de un anticorrosivo con polifenoles extraídos de material orgánico residual a escala piloto.

## 1. MARCO TEÓRICO

Para el presente proyecto, el marco teórico comprende y engloba la terminología con la cual se va a trabajar y además algunos conceptos útiles que se utilizarán con el fin de dar mejor comprensión en la metodología que se utilizara para trabajar.

### 1.1. Corrosión

En términos generales la corrosión se define como el deterioro de un metal, o la degradación de sus propiedades debida a la reacción que se genera con el entorno al cual está expuesto [2].

El daño estructural al cual se exponen estos materiales se debe a que los metales tratados después de su extracción tienen un potencial energético elevado, los daños estructurales se comprueban con la disminución del peso en las piezas metálicas puesto que buscan alcanzar un potencial energético menor al que tenían antes de dichos tratamientos o el mismo con el que contaban al momento de ser extraídos de las menas [2].

La corrosión es una problemática que provoca fallas en infraestructura y maquinaria de plantas industriales, por ello se buscan formas de controlarla frenándola o disminuyendo gradualmente su velocidad.

**Figura 1.**

*Representación del fenómeno de la corrosión*



**Nota.** En la figura se puede observar el deterioro de una maquina debido al oxido que se produce por el contacto con el entorno. Tomado de: “¿Qué es la corrosión?,” Bardahl Industria, 24-Aug-2018. [Online]. Available: <https://www.bardahlindustria.com/explicacion-corrosion/>

## **1.2. Tipos de corrosión**

La corrosión se puede categorizar de varias maneras, teniendo en cuenta el entorno al cual se exponga la pieza metálica, el tipo de aleación u otras que se describen a continuación:

### **1.2.1. Corrosión generalizada**

También llamada proceso de corrosión uniforme, es el daño o desgaste que se genera a lo largo de la pieza metálica de forma homogénea, siendo considerada la que provoca el daño más pronunciado sobre la capa metálica, especialmente en aceros, aun asi, al ser la corrosión que se puede detectar más fácilmente cuenta con la ventaja de ser la que se puede tratar con mayor facilidad [3].

## Figura 2.

*Corrosión generalizada en un mecanismo*



**Nota.** la figura muestra el proceso de corrosión extendido en la superficie de un mecanismo. Tomado de: A. G. Ollarves, “¿Qué es la corrosión y cómo evitarla?: Bricolemar Blog,” Blog de Bricolaje Bricolemar, 23-Aug-2017. [Online]. Available: <https://www.bricolemar.com/blog/como-evitar-corrosion/>

### **1.2.2. Corrosión localizada**

La corrosión localizada es un tipo de corrosión que se presenta en partes concretas del material de trabajo, lo cual hace más difícil su detección y tratamiento.

En ella influyen las condiciones climáticas y la forma de la pieza, con formas complejas el tratamiento se hace más difícil [3].

**Figura 3.**

*Corrosión en puntos específicos de un metal*



**Nota.** La figura muestra puntos de corrosión aleatorios en una superficie metálica. Tomado de: S. Parra, "Tipos de corrosión en el Acero," Tipos de corrosión en el acero. [Online]. Available: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/tipos-de-corrosion-en-el-acero>

La corrosión localizada se divide a su vez en varios subtipos que se van a enmarcar a continuación:

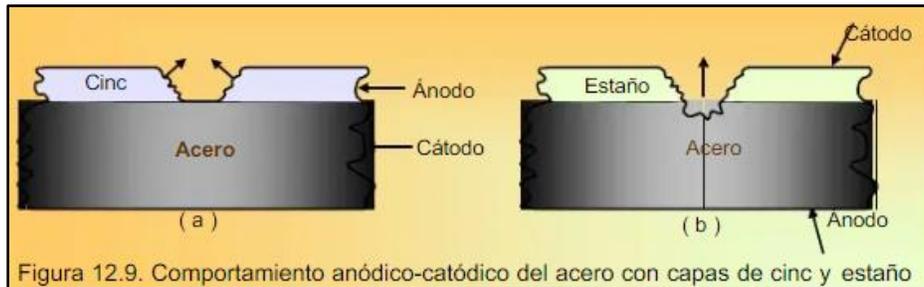
**1.2.3. Corrosión galvánica o entre dos metales**

Este tipo de corrosión se da cuando dos metales con potenciales electroquímicos distintos entran en contacto de forma física o eléctrica acelerando la velocidad de deterioro [4].

Un ejemplo de corrosión galvánica es la aleación de acero galvanizado, donde una fina capa de cinc que recubre el acero constituye una protección de sacrificio (es decir que el cinc se corroe actuando como ánodo protegiendo al acero, que actúa como cátodo) [4].

#### Figura 4.

Representación de corrosión galvánica



**Nota.** La figura esquematiza la función del cinc como ánodo de protección.

Tomado de: Unidad 12. Fundamentos de Corrosión y Protección. [Online].

Available: [https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12\\_4.html](https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12_4.html)

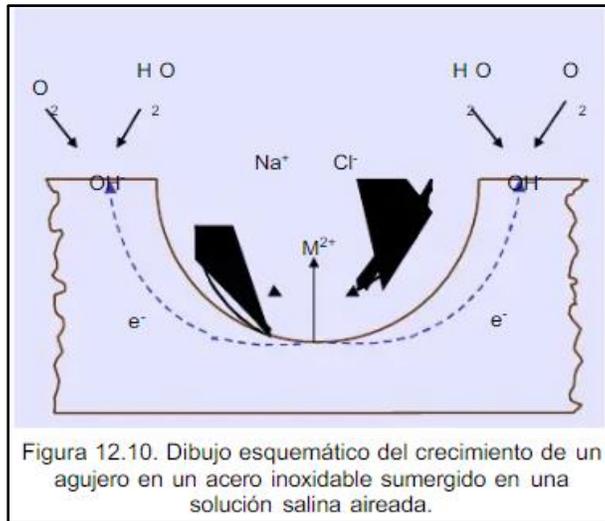
#### 1.2.4. Corrosión por picadura o pitting

Es una de las formas de corrosión localizada que produce hoyos u agujeros en metales pasivados por una acumulación de agentes con potencial corrosivo en zonas específicas del material [2].

Es un tipo de corrosión bastante dañino para maquinaria y estructuras ingenieriles si se llega a presentar una perforación del bloque o lamina que se está examinando, además de ser difícil de detectar debido a que estas “picaduras” pueden ser tan pequeñas que resultan complicadas de encontrar, esto aunado a la aleatoriedad que presenta el número de hoyos que puede tener el material en su estructura cubiertos con capas de corrosión, lo que causa fallas inesperadas en los procesos [4].

**Figura 5.**

*Representación de la formación de una picadura en una lámina de acero*



**Nota.** La figura presenta el crecimiento de una picadura en un bloque de acero inoxidable debido a la reacción con su entorno. Tomado de: Unidad 12. Fundamentos de Corrosión y Protección. [Online]. Available: [https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12\\_4.html](https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12_4.html)

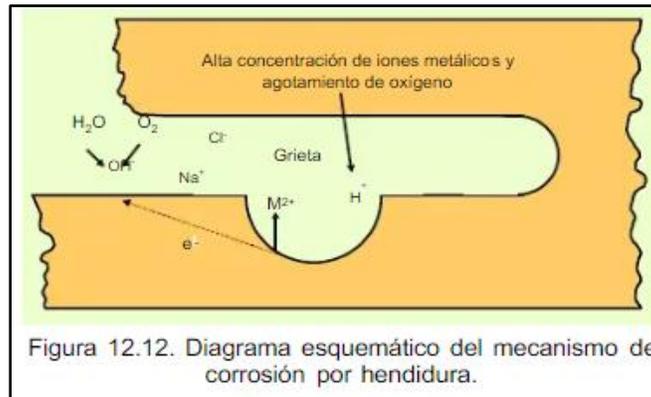
### **1.2.5. Corrosión por grietas o fisuras**

Es un tipo de corrosión que se efectúa en zonas con hendiduras o estrechas en las cuales se puede presentar estancamiento de soluciones salinas o corrosivas [2].

Algunos ejemplos de piezas en las cuales se produce este tipo de corrosión son: juntas, remaches, pernos y tornillos, entre otros materiales cuya geometría implique estrechez en zonas determinadas [4].

### Figura 6.

Representación de un sistema de corrosión por grietas



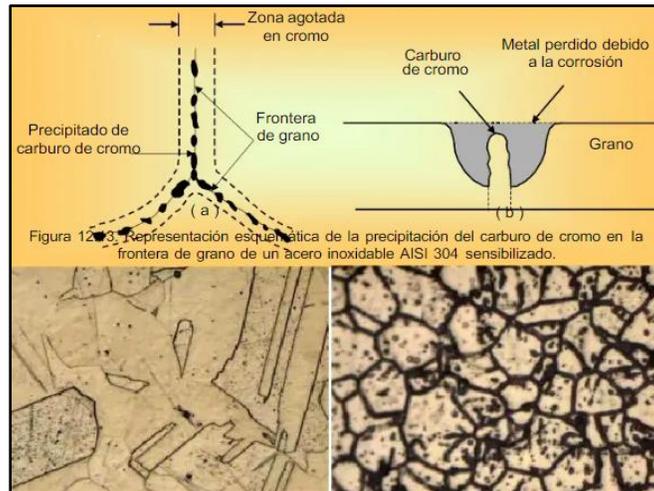
**Nota.** La figura muestra el proceso de corrosión por fisuras o grietas en una zona estrecha. Tomado de: Unidad 12. Fundamentos de Corrosión y Protección. [Online]. Available: [https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12\\_4.html](https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12_4.html)

### 1.2.6. Corrosión intergranular

Se refiere a un tipo de corrosión que se produce por acción del efecto que se encuentra en los límites de grano de una aleación metálica cuando no se puede efectuar la pasivación del material debido a la aleación propiamente dicha, produciendo pérdida a la resistencia del material [4].

**Figura 7.**

*Representación de un sistema de corrosión intergranular*



**Nota.** La figura presenta un material con una zona pobre en cromo en la cual se ve afectada la frontera de grano provocando corrosión intergranular. Tomado de: Unidad 12. Fundamentos de Corrosión y Protección. [Online]. Available:

[https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12\\_4.html](https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12_4.html)

### **1.2.7. Corrosión por cavitación**

La corrosión por cavitación se presenta en sistemas de transporte de fluidos (generalmente líquidos) constituidos, o cuya composición consta de materiales pasivados. Este tipo de corrosión se puede observar durante el transporte de líquidos con burbujas; estas burbujas explotan en las paredes de los tubos metálicos provocando un daño estructural en el material [2].

### Figura 8.

*Corrosión por cavitación en una aleta metálica*



**Nota.** La figura muestra el proceso de corrosión por cavitación en una aleta, parecido a la corrosión por picadura con la diferencia de ser un daño mayor y más observable. Tomado de: CristianGar, “Corrosión por cavitación - ingeniería mecánica,” *corrosión por cavitación - ingeniería mecánica*, 27-Nov-2022. [Online]. Available:

<https://ingenieriamecanicacol.blogspot.com/2016/07/corrosion-por-cavitacion.html>

### 1.2.8. **Corrosión microbiológica**

Es un tipo de corrosión que también se conoce como corrosión bacteriana, se da en sistema de transporte de líquidos sobre los cuales se pueda facilitar la aparición de microorganismos (pueden ser fuente de oxígeno) que propician la condiciones para el proceso de la corrosión [2].

Este tipo particular de corrosión afecta en gran medida a la industrial del petróleo debido a fallas que se ocasionan durante el transporte de los hidrocarburos.

### Figura 9.

*Representación de la corrosión microbiológica*



**Nota.** La figura muestra una tubería de transporte de curdo afectada por la aparición de microorganismos promotores de corrosión. Tomado de: "MIRC. ¿Qué es la corrosión microbiológica?," *Cleanstart*. [Online]. Available: <https://elektrokorrosion.com.ar/2020/04/07/mirc-que-es-la-corrosion-microbiologica/>

#### **1.2.9. Corrosión efectuada por fenómenos físicos**

Estos tipos de corrosión se presentan cuando se involucra un fenómeno físico en los procesos productivos [2].

#### **1.2.10. Corrosión erosiva**

Es un tipo de corrosión que se efectúa con el movimiento de fluidos corrosivos en una superficie metálica [3], lo que provoca un incremento en la velocidad de la corrosión e inevitablemente el desgaste de la pieza metálica [2]. Se caracteriza por la aparición de surcos, agujeros, y otras configuraciones características de los sistemas corrosivos [4].

**Figura 10.**

*Corrosión erosiva presente en un codo de 90°*



**Nota.** La figura muestra el proceso de corrosión erosiva en un codo de unión en tuberías. Tomado de: CristianGar, "Corrosión por erosión - Ingeniería mecánica," corrosión por erosión - ingeniería mecánica, 27-Nov-2022. [Online]. Available: <https://ingenieriamecanicacol.blogspot.com/2016/07/corrosion-por-erosion.html>

**1.2.11. Corrosión por tensión**

Este tipo de corrosión es común en pruebas de materiales, la prueba de resistencia a la tensión en metales genera fisuras en la superficie del material, y es precisamente en estas fisuras o grietas donde empieza el proceso corrosivo con el ambiente al cual están sometidos [2].

El daño estructural es mayor teniendo en cuenta que la prueba de resistencia a la tensión deja el material frágil en ciertas zonas y las afectaciones que ocasiona el proceso corrosivo se ven potenciadas, es decir, se propaga con mayor facilidad [2].

**Figura 11.**

*Corrosión debida a la tensión*



**Nota.** La figura muestra la afectación estructural por tensión en una pieza soldada. Tomada de: CristianGar, "Corrosión por esfuerzos - ingeniería mecánica," *corrosión por esfuerzos - ingeniería mecánica*, 27-Nov-2022. [Online]. Available: <https://ingenieriamecanicacol.blogspot.com/2016/06/corrosion-por-esfuerzos.html>

### **1.2.12. Otros tipos de corrosión**

1. Filiforme: daño que se da en ambientes con una cantidad elevada de humedad sobre superficies o piezas con revestimientos, pinturas o recubrimientos que se fabrican con material orgánico (que puede ser residual). Este deterioro es ocasionado al rayar la pintura y dejar descubierto el metal [2].
2. Desaleación: también llamada corrosión selectiva o desaleante, es un proceso corrosivo que se produce sobre aleaciones metálicas en donde una parte de la aleación se separa o sufre un cambio por tener mayor afinidad con el oxígeno circundante, empobreciendo el material o deteriorando sus propiedades internas [2].
3. Potencial de corrosión: el potencial de corrosión es una medida de potencial mixto (es decir que, en el proceso de corrosión efectuado sobre una lámina de metal cualquiera, las reacciones de oxido-reducción que ocurren se efectúan a una velocidad similar o igual en su superficie), sin una corriente que entre o salga del electrodo, sin presentar equilibrio total pues existe transformación de la materia [5].

### 1.3. Velocidad de corrosión

Como lo expresa [5], la velocidad de corrosión se refiere a una medida que informa o expresa la cantidad de material metálico que adquiere óxido o se corroe por unidad de tiempo de trabajo y de superficie metálica expuesta.

### 1.4. Polarización

En términos de corrosión, se define la polarización como la resta entre el potencial electroquímico de un electrodo cualquiera para unas condiciones determinadas de densidad de corriente con el consecuente potencial de corrosión [5], se enuncia:  $\eta : E - E_{cor}$

### 1.5. ¿Cómo medir la velocidad de corrosión?

Para la determinación de la velocidad con la cual se efectúa el fenómeno de la corrosión en metales, como se mencionó anteriormente, la cantidad de metal que se corroe con el paso del tiempo [5], según la literatura, se han utilizado tres métodos que inciden en el potencial de la corrosión aplicado a determinado metal.

Estos métodos (uno analítico y gravimétrico, los otros 2 electroquímicos) permiten generar un análisis del avance de la corrosión a determinadas condiciones experimentales con sus ventajas y desventajas, se enunciarán a continuación:

#### 1.5.1. Método de pérdida de peso

Consiste en la determinación de la velocidad de corrosión debida a la pérdida de peso que tiene el material u aleación sometido a un ambiente corrosivo en una determinada cantidad de tiempo [6].

Este es uno de los métodos más utilizados en pruebas de corrosión y oxidación de metales para evaluar el porcentaje de daño en los mismos, puesto que genera resultados confiables, pero hay que tener en cuenta que el análisis de replicas podría verse alargado y si las condiciones iniciales de trabajo no son favorables [6].

Para el cálculo se pueden utilizar las siguientes ecuaciones [7]:

### Ecuación 1.

Masa perdida en el electrodo

$$\Delta m = \frac{I_{cor} \cdot t \cdot M}{n \cdot F}$$

Donde:

- $\Delta m$ : diferencia de masa perdida en el experimento
- $I_{cor}$ : intensidad de la corrosión (A)
- $t$ : Tiempo (s)
- $M$ : masa molar del metal trabajado (g/mol)
- $n$ : Numero de electrones transferidos
- $F$ : constate de Faraday

### Ecuación 2.

Velocidad de corrosión a partir de la variación de la masa

$$V_{cor} = \frac{\Delta m}{A \cdot t}$$

Donde:

- $V_{cor}$ : Velocidad de corrosión (g/cm<sup>2</sup>\*s)
- $A$ : área del material expuesto (cm<sup>2</sup>)
- $t$ : Tiempo (s)

Reemplazando la ecuación 1 y 2 descritas anteriormente, se obtendrá una ecuación modificada que incluye las variables más importantes, será [7]:

### Ecuación 3

Velocidad de corrosión

$$V_{cor} = \frac{I_{cor} \cdot M}{n \cdot F \cdot A}$$

Donde:

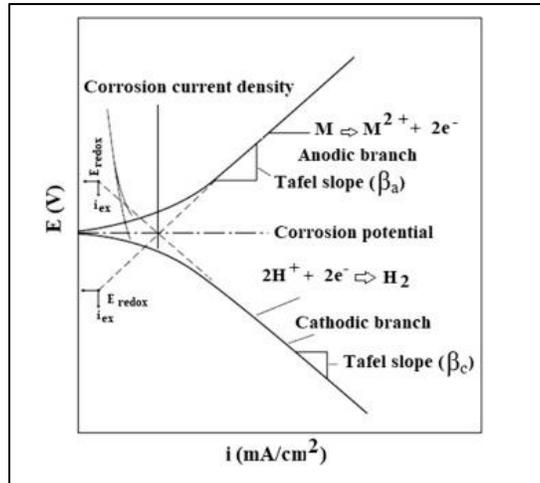
- $V_{cor}$ : Velocidad de corrosión ( $\text{g/cm}^2 \cdot \text{s}$ )
- $I_{cor}$ : intensidad de la corrosión (A)
- $M$ : masa molar del metal trabajado ( $\text{g/mol}$ )
- $n$ : Numero de electrones transferidos
- $F$ : constante de Faraday
- $A$ : área del material expuesto ( $\text{cm}^2$ )

#### 1.5.2. *Técnica de extrapolación de Tafel*

Consiste en la generación de curvas de polarización experimentales, sobre las cuales se hacen modificaciones con el fin de no llevar el proceso exactamente a los términos de corrosión pues para su determinación se requiere que el sistema con el cual se está trabajando no se encuentre en condiciones de equilibrio, dentro del mismo se estiman los potenciales mixto y de corrosión teniendo en cuenta la cinética y la termodinámica de las reacciones que allí se producen [8].

**Figura 12.**

Curva de polarización experimental para la determinación de la región de tafel



**Nota.** La curva muestra la separación entre las regiones de Tafel anódica y catódica. Tomado de: "Tafel extrapolation," *Tafel Extrapolation - an overview* | ScienceDirect Topics. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/tafel-extrapolation>

### 1.5.3. Técnica de resistencia a la polarización

La técnica de la resistencia a la polarización lineal es un método de evaluación de las velocidades de corrosión que consiste en la polarización de un electrodo sobre el cual circula una corriente de energía, posee una ventaja con respecto a otros métodos de determinación de velocidades de corrosión y es el de ser bastante rápido y eficaz generando una curva, la inversa de la pendiente de la curva de polarización es pues, el valor de la velocidad de corrosión [9].

## 1.6. Factores que influyen en la corrosión

### 1.6.1. Temperatura

El incremento progresivo de este factor es proporcional al incremento en la velocidad de la corrosión en el material de interés debido a que se acelera el proceso de difusión de oxígeno en la capa superficial del metal [2].

### 1.6.2. Acidez de la solución de exposición

La naturaleza básica o acida de una solución a la cual se expone un metal cualquiera es de suma importancia al momento de realizar ensayos relacionados con la velocidad o avance de la corrosión en dicho material. Las soluciones con carácter ácido (pH en un rango de 0 a 7) tienden a generar un mayor deterioro del metal siendo que se propician reacciones más agresivas en la zona anódica del mismo [2].

Figura 13.

Bidón de ácido nítrico



**Nota.** La figura muestra un bidón con ácido nítrico, una de las sustancias ácidas corrosivas más comunes. Tomado de: “Ácido nítrico 50%,” Suquin S.A.S. [Online]. Available: <https://www.suquin.com.co/TIE/NDA/Acido-Nitrico-50-p454942159>

### **1.6.3. Sales disueltas**

Similar al carácter relacionado con la acidez, la naturaleza de las sales disueltas en un medio influye en el proceso de corrosión siendo que, las sales acidas propician reacciones que comprometen la integridad estructural de los materiales por efecto de la disminución del pH en la sustancia diluida; Al contrario, las sales con carácter básico retrasan las velocidades de corrosión, es decir que se pueden utilizar como inhibidores eficaces [2].

### **1.6.4. Capas protectoras**

Este factor más que acelerar el proceso de deterioro es una forma de protección o de desaceleración de la corrosión, es una forma de pasivación que consiste en la formación de pequeñas capas de óxido o la aplicación de un recubrimiento que protege el metal involucrado [2].

### **1.6.5. Concentración de oxígeno**

La concentración de oxígeno presente en un ambiente de exposición influye en el material de interés dependiendo del tipo de metal con el cual se esté trabajando. Si son metales con presencia de hierro en su composición, la concentración de oxígeno puede acelerar el proceso, de ser metales con carácter pasivable, favorecerá la generación de capas de óxido protectoras [2].

## **1.7. Control y protección de la corrosión**

Existen distintas técnicas y sustancias que son capaces de frenar el proceso de deterioro o aislar los materiales de trabajo de ambientes agresivos que puedan causar daños en la estructura de los metales, comprometiendo la integridad de equipos industriales, estructuras civiles y la seguridad humana.

Las sustancias que se implementan para proteger varios tipos de metales consisten en películas que recubren los mismos y a su vez les pueden agregar propiedades que los hacen más duraderos.

A continuación, se realizarán las definiciones concernientes a la protección de metales:

### 1.7.1. Anticorrosivo

Un material o sustancia es anticorrosivo si mediante tratamientos, técnicas o su propia composición es capaz de disminuir o frenar la velocidad del proceso conocido como corrosión (no confundir con inhibidor de corrosión pues, los anticorrosivos pueden estar fabricados con uno o más inhibidores) los materiales anticorrosivos se crean dependiendo de las condiciones a las cuales este expuesto el metal, la naturaleza estructural y la composición del mismo y el potencial de protección de los materiales utilizados para crear el producto final.

**Figura 14.**

*Pintura anticorrosiva*



**Nota.** La figura muestra un anticorrosivo comercial. Tomado de: “Anticorrosivo Pintuland,” *Pintuland*, 09-Nov-2022. [Online]. Available: <https://pintuland.com.co/product/anticorrosivo/>

### 1.7.2. Inhibidor de corrosión

Un inhibidor de corrosión es una sustancia que se aplica directamente en un metal u aleación con el fin de generar una capa protectora que evitara que el proceso de corrosión siga su curso a su velocidad normal, esto quiere decir que su composición es capaz de frenar este fenómeno [10].

Los inhibidores de corrosión son utilizados en periodos cortos de tiempo y generalmente se aplican en superficies metálicas que estén en constante exposición con ambientes que generen oxidación (como los salinos) [10].

Con mucha frecuencia se tiende a confundir el termino de corrosión con del de oxidación, pues la oxidación ocurre en metales con alguna cantidad de hierro en su composición y la corrosión afecta a todo tipo de metal [10].

La eficiencia de un inhibidor se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 4.**

Porcentaje de eficiencia de inhibición

$$\% \text{ de inhibición o eficiencia} = \frac{V_{\text{cor sin inhibidor}} - V_{\text{cor con inhibidor}}}{V_{\text{cor sin inhibidor}}} \cdot 100$$

Donde:

- $V_{\text{cor}}$ : Velocidad de corrosión reportada

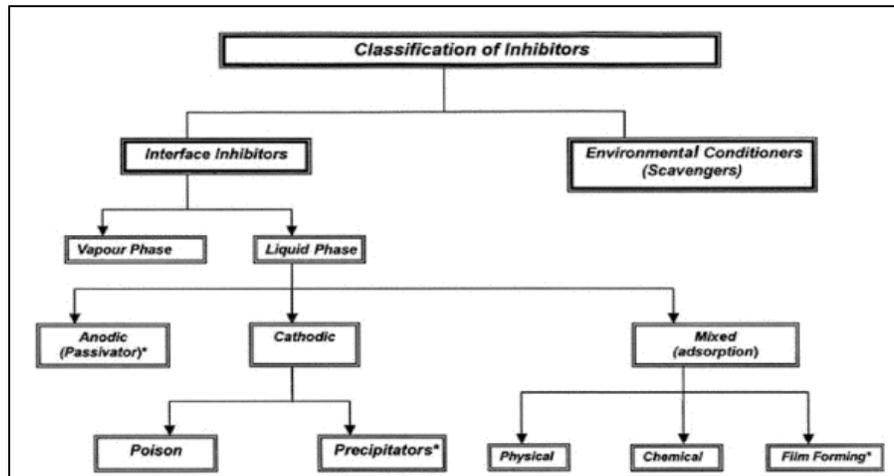
La ecuación anterior fue tomada del manual de corrosión de uhlig [11].

### **1.7.3. Tipos de inhibidores**

Según el manual de corrosión (uhlig), los inhibidores se pueden clasificar por su forma de acondicionamiento con el ambiente, o por la fase que adopten (inhibidores de interface [11].

**Figura 15.**

*Clasificación de los inhibidores*



**Nota.** La grafica presenta la clasificación desglosada de los inhibidores de corrosión. Tomado de: R. R. Winston. "Uhlig's Corrosion handbook", Ottawa, Ontario (Canadá), 3 ed, a John Wiley & Sons INC publication.

1.7.3.a. Acondicionadores ambientales: son aquellos inhibidores capaces de remover o "barrer" las sustancias corrosivas en el medio al cual está expuesto el metal, protegiendo su superficie (la oxido reducción es común en soluciones neutras o alcalinas, la reducción de oxígeno es posible debido a este tipo de inhibidores que también son llamados "scavengers") [11].

1.7.3.b. Inhibidores de interface: los inhibidores de interface son agentes de control de la corrosión que actúan formando capas o películas que protegen el metal del ambiente al cual está expuesto, se subdividen en 2 categorías, inhibidores en fase vapor e inhibidores en fase liquida [11].

1.7.3.c. Inhibidor en fase vapor: son inhibidores que promueven una protección del metal de la corrosión en condiciones atmosféricas por periodos determinados de tiempo, su funcionamiento consiste en la aplicación de sustancias capaces de retrasar la velocidad de corrosión con una baja presión de vapor; estas sustancias se adecuan a las cámaras en donde se impregnaran a los metales (generalmente ferrosos) evaporándose lentamente y protegiendo el material del aire y la humedad [11].

1.7.3.d. Inhibidor en fase líquida: actúan dependiendo de la naturaleza de la reacción implicada en el proceso (en este caso anódica, catódica o mixta)

1.7.3.e. Anódicos: también llamados inhibidores de pasivación o pasivadores, son inhibidores que se utilizan en sustancias con escasa solubilidad aproximadas a la neutralidad en donde se forman sales, hidróxidos y óxidos. Su mecanismo consiste en la formación de películas que protegen o “pasivan” el material que se está utilizando. Si la concentración del inhibidor no es suficiente se ve acelerada la velocidad de corrosión en el medio [11].

1.7.3.f. Catódicos: los inhibidores catódicos funcionan disminuyendo la tasa de reducción (venenos catódicos) o precipitando en las zonas catódicas (precipitadores catódicos). Los venenos catódicos funcionan absorbiéndose en la superficie del metal, limitando la reacción catódica y formando una capa metálica de protección disminuyendo la propagación de oxígeno en el medio y los precipitadores catódicos incrementan la alcalinidad en determinados puntos del metal propiciando la precipitación de compuestos que no fueron capaces de solubilizarse sobre la superficie del material [11].

1.7.3.g. Mixtos: los inhibidores mixtos son inhibidores orgánicos que no se pueden designar como anódicos o catódicos. Su porcentaje de eficiencia o de inhibición efectiva depende de que tan buena sea la absorción y adherencia sobre la superficie de un metal y protegen el metal de 3 formas posibles: Absorción física, quimisorción y formación de una película de recubrimiento [11].

#### **1.7.4. Recubrimientos**

Un recubrimiento es una de las técnicas más utilizadas para retrasar los procesos de corrosión en la industria del metal. Consiste en una fórmula (pintura, resina, mezcla) que se aplica sobre determinada superficie metálica creando una barrera que protege al metal del ambiente al cual está expuesto, así, evitando que se oxide [7].

### **1.7.5. Tipos de recubrimientos**

1.7.5.a. Organicos: los inhibidores de corrosion organicos son un método d protección de metal por peso, consiste en la aplicación de una barrera física que contiene aditivos inhibidores de corrosión entre otros componentes que no modifican la superficie del material [12].

1.7.5.b. Inorgánicos: los recubrimientos inorgánicos son un ejemplo de protección sintética de los metales (vidrios, porcelanas, recubrimientos de conversión, etc.) un ejemplo de recubrimientos de conversión se ve cuando se corroe la capa superficial de un metal cualquiera intencionalmente con el fin de producir una capa de corrosión adherente que protegerá el material de futuros ataques (pasivación) [12].

1.7.5.c. Metálicos: este tipo de protección está basado en la creación de una capa protectora entre el sustrato metálico y el medio ambiente y pueden llegar a proporcionar una protección catódica si se llegase a comprometer el recubrimiento en sí [12].

Los procesos químicos involucrados en la generación de estas capas protectoras son técnicas como: inmersión en caliente, galvanoplastia, rociado térmico, deposición de vapor químico, galvanizado, entre otros [12].

### **1.7.6. Partes de un recubrimiento**

Un recubrimiento o revestimiento consta de 3 partes importantes para poder ser sintetizado correctamente, un pigmento, un vehículo ligante o fijo y los aditivos para darle características específicas [13].

1.7.6.a. Pigmento: parte del recubrimiento que consiste en una cantidad de partículas sólidas, que tienen un carácter insoluble en el vehículo fijo y se utilizan con el fin de proporcionar propiedades específicas en el recubrimiento [7].

Los pigmentos pueden ser: anticorrosivos, cubrientes o activos, formulados para cubrir una acción específica, inertes o de carga [13].

1.7.6.b. Vehículo: parte del revestimiento que se encarga de retener el pigmento añadido (de cualquier clase) y sus correspondientes aditivos, proveer una película protectora sobre la superficie del material en el cual se está aplicando [7].

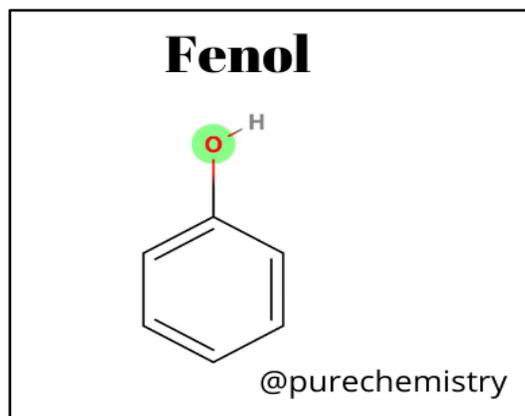
1.7.6.c. Aditivos: compuestos adicionados en pequeñas cantidades a la fórmula de la pintura con el fin de promover la disolución del pigmento seleccionado y contribuir en la viscosidad final de la pintura [7].

## 1.8. Polifenoles

Los polifenoles son compuestos formados por la unión de varias moléculas que se caracterizan como fenoles (los cuales son, a su vez, anillos aromáticos enlazados a un grupo hidroxilo), estos compuestos se encuentran en mayor cantidad en plantas, vegetales y frutas como un derivado del metabolismo secundario de las mismas [14].

**Figura 16.**

*Representación del grupo fenol*



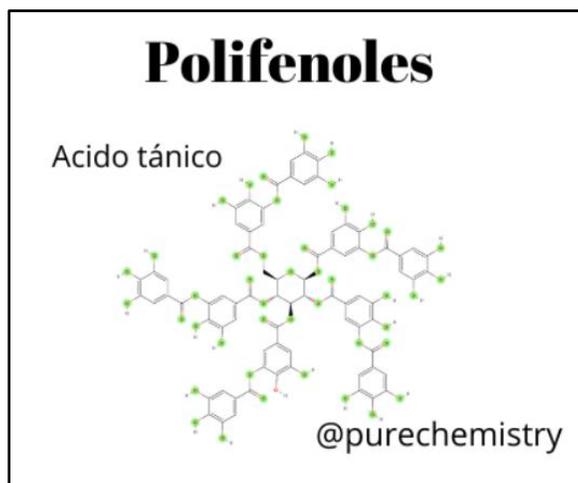
**Nota.** La imagen muestra la representación del grupo fenol caracterizado por la unión entre un anillo aromático y un grupo hidroxilo. Tomado de: P. Chemistry, "Polifenoles de Avena," *PURE CHEMISTRY® S.A.S. Dermatochemistry*, 06-Sep-2021. [Online]. Available: <https://www.purechemistryonline.com/blog/polifenoles>

Los polifenoles son objeto de estudio debido a sus propiedades benéficas para la salud humana, contando con propiedades antioxidantes (neutralización de radicales libres) estas mismas propiedades ayudan a contrarrestar algunas enfermedades y a potenciar la calidad de vida [14].

Pero, también se han visto estudios como la “*Evaluación del efecto antioxidante del extracto poli fenólico de la almendra del mango (Mangifera indica L.) var. Magdalena river*” En el cual se establece la almendra del mango como un sustrato con propiedades antioxidantes [15], “*Extractos de plantas como inhibidores de corrosión para aleaciones de aluminio en ambientes de NaCl – Revisión reciente*” con el cual se establecen los extractos derivados de plantas con propiedades antioxidantes (como los polifenoles) como un posible sustrato con potenciales propiedades anticorrosivas, esto permite realizar un análisis de las propiedades industriales de estos compuestos y su posible explotación en campos como la corrosividad de metales [16].

**Figura 17.**

*Representación de los polifenoles (Acido tánico)*



**Nota.** La imagen muestra gráficamente la representación del ácido tánico presente en alimentos como vino tinto, café, espinacas y otros. Tomado de: P. Chemistry, "Polifenoles de Avena," *PURE CHEMISTRY® S.A.S. Dermatochemistry*, 06-Sep-2021. [Online]. Available: <https://www.purechemistryonline.com/blog/polifenoles>

## 1.9. Química verde

La química verde, consiste en varios principios y procesos encaminados en la generación de productos sostenibles que sean capaces de reducir o suprimir el uso o la fabricación (mediante el producto final o cambios en el diseño de proceso, sustitución de materiales peligrosos o tóxicos por alternativas ambientalmente seguras, entre otras) de sustancias con porcentajes considerables de toxicidad o peligrosas para el entorno en el cual se esté trabajando [17].

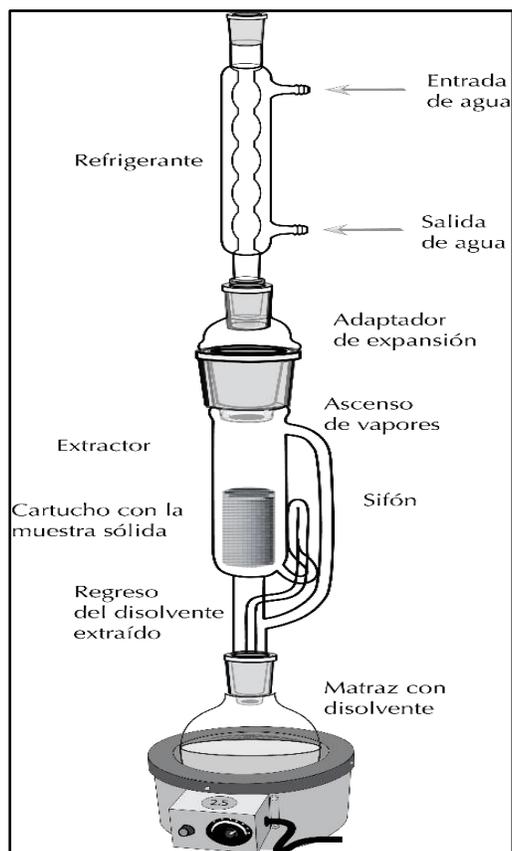
### **1.10. Método de extracción por soxhlet**

El método de extracción con equipo soxhlet consiste en la separación (de grasas o sustancias de índole lipídica principalmente) a partir de la diferencia de solubilidades [18].

El equipo de extracción se compone de una parrilla o fuente de calentamiento, un matraz, un sifón (que contendrá la muestra que se quiere analizar de forma sólida y seca para evitar que las partículas de agua alteren los resultados finales) y un condensador de tipo bulbo, por el cual se hará circular un refrigerante (agua generalmente) para efectuar un ambiente frío que condensará el disolvente, haciendo de este un proceso cíclico donde, en el matraz ingresará una cantidad determinada de solvente el cual por acción de calentamiento, se evaporará lentamente subiendo por el sifón, y caerá en forma de gotas gracias al condensador sobre el mismo sifón hasta determinada altura, a este punto el sifón volverá a soltar el solvente en el matraz pero con una cantidad concentrada de la muestra inicial [18].

**Figura 18.**

*Representación de la extracción con soxhlet*



**Nota.** La figura muestra las partes que componen el montaje de extracción con el equipo soxhlet para poder efectuar su adecuado funcionamiento. Tomado de: “Extracción Sólido-Líquido (soxhlet),” *De Química*, 10-Nov-2022. [Online]. Available: <https://www.dequimica.info/extraccion-solido-liquido/>

### 1.11. *Mangifera indica*

La *Mangifera indica*, generalmente conocida como mango, melocotón de los trópicos, o mango de azúcar, es una especie de fruto/árbol perteneciente al reino Plantae, división Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, orden Sapindales de la familia Anacardiaceae, genero *Mangifera*, proveniente del continente asiático [19], perteneciente junto al

mangostino y la guayaba a un grupo importante de frutos tropicales, siendo india el principal país exportador controlando un 42% del mercado a nivel mundial [20].

El mango común es una fuente de ácido ascórbico (9,79 a 186 mg/100g), carotenoides (1159 a 3000 mg/100 g) y compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes potenciales [21].

### **1.11.1. *Árbol***

Es un árbol perenne (significa que al brotar el follaje de hojas que lo recubren, estas permanecerán durante más de una sola época de cultivo y resistirá diferentes condiciones climáticas), el cual puede llegar a alcanzar los 45m de altura y 30m de diámetro total en la copa, sus hojas pueden variar en tamaño de 15 a 30 cm de longitud, sus flores tienen variaciones en tonos en la gama de rojos y verdes [19].

### **1.11.2. *Semilla***

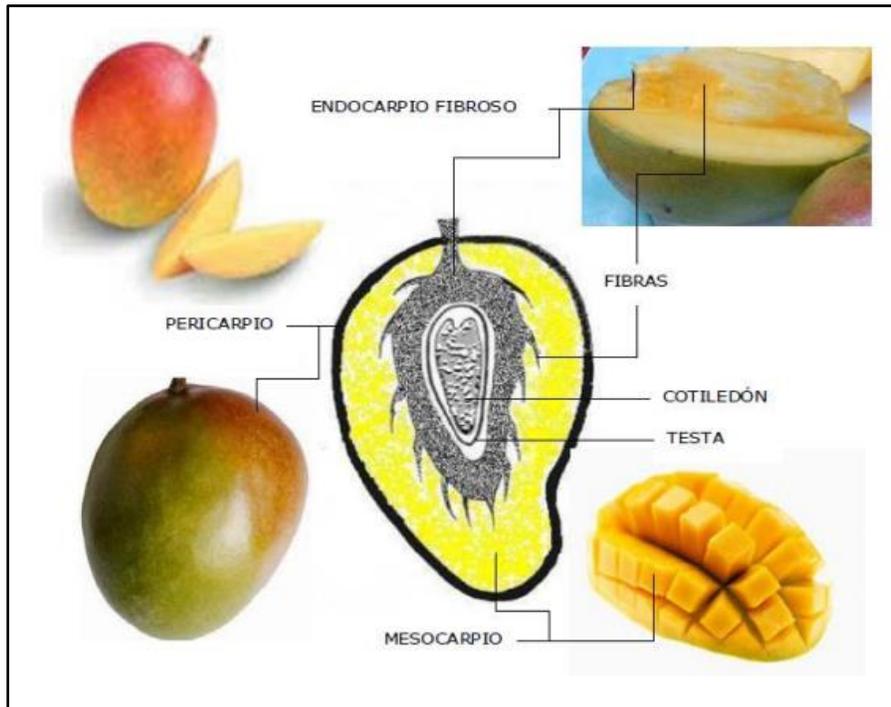
La semilla, cubierta por una pepita fibrosa o testa y tegumento, de forma aplastada, con variaciones en el peso dependiendo del tamaño final del mango (generalmente el 13% del peso total de la fruta).

**1.11.3. *Fruto:*** Su fruto es considerado como drupa (fruto simple cuyo mesocarpio es carnoso y en su interior se encuentra una semilla o hueso) con un buen sabor (amargo-dulce) reconocible por su color amarillento – verdoso en su piel en estado de maduración, cambiando a una tonalidad que combina coloraciones rojizas y amarillas cuando ya ha madurado totalmente [19].

Es una especie bastante resistente y se adapta a condiciones de sequía en países con climas tropicales, una desventaja considerable es que es una planta agresiva y territorial (lucha por ocupar un espacio determinado) [19].

**Figura 19.**

*Morfología del mango*



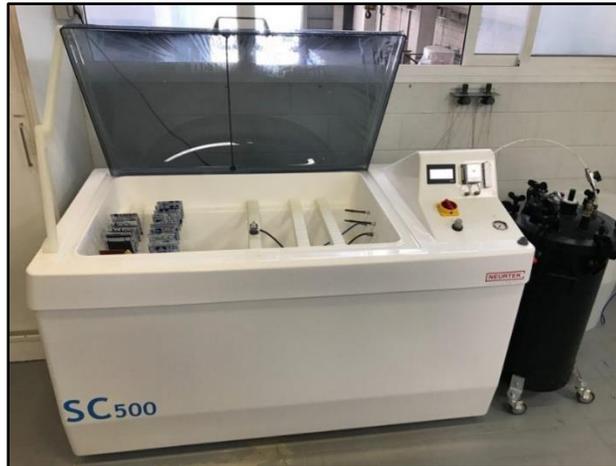
**Nota.** La imagen muestra la morfología del mango (las diferentes partes que componen el fruto en una etapa de maduración). Tomado de: M. Ramírez, "Aplicación secuencial de Dos tratamientos hidrotérmicos en frutos de ..." [Online]. Available: [https://mcta.uas.edu.mx/pdf/repositorio/2014-2016/07\\_Ramirez\\_Perales\\_Maria\\_Fernanda.pdf](https://mcta.uas.edu.mx/pdf/repositorio/2014-2016/07_Ramirez_Perales_Maria_Fernanda.pdf)

### 1.12. Cámara de niebla salina

Equipo capaz de simular un ambiente corrosivo para probar la resistencia de diferentes materiales a condiciones determinadas, mediante difusores o aspersores que continuamente rocían una solución salada capaz de inducir el fenómeno de deterioro sobre determinado objeto.

**Figura 20.**

*Cámara de niebla salina*



**Nota.** La imagen muestra el equipo utilizado para generar un ambiente corrosivo conocido como cámara de niebla salina de marca Coatresa. Tomado de: “Cámara de Niebla Salina Para Los Recubrimientos,” Coatresa, 14-Jan-2019. [Online]. Available: <https://www.coatresa.com/camara-de-niebla-salina/>

### **1.13. Marco legal y normativo**

En este apartado se enmarcan las normas, reglas y leyes concernientes a los ensayos y especificaciones relacionados con la producción de pinturas anticorrosivas.

Este marco normativo se tendrá en cuenta para la producción y uso del producto final.

#### **1.13.1. Norma ASTM B117 (Práctica estándar para el funcionamiento de los equipos de niebla salina)**

Establece el procedimiento y manejo estándar de la sociedad estadounidense de pruebas y materiales (por sus siglas en inglés ASTM) para los distintos tipos de cámaras de niebla salina que simulan ambientes de deterioro de materiales susceptibles a degradación por corrosión, junto con las especificaciones mínimas de la prueba [22].

### **1.13.2. Norma ASTM D3359 (Métodos de prueba estándar para la clasificación de la adhesión o prueba de adherencia por el método de cinta)**

Establece los procedimientos necesarios para la evaluación de la resistencia en revestimientos sobre sustratos metálicos mediante la aplicación y remoción de una cinta en la lámina a la cual se le realizaron cortes en forma de patrón (también llamado proceso de adherencia por el método de cuadrícula), (ver anexo 1).

### **1.13.3. Norma técnica colombiana NTC 1156**

Hace referencia a la reglamentación y procedimientos adaptados directamente de la norma ASTM B117 para Colombia, editada por el instituto colombiano de normas técnicas y certificación (ICONTEC), (ver anexo 1).

### **1.13.4. Norma ISO 12944**

Hace referencia a uno de los principales estándares a nivel internacional para la protección del deterioro por corrosión en aceros mediante el uso de revestimientos o pinturas. Esta norma fue publicada por primera vez en el año de 1998 y es una de las normas más importantes a tener en cuenta por profesionales en corrosión durante la síntesis de productos inhibidores/protectores de desgaste [23].

## 2. METODOLOGÍA Y EXPERIMENTACIÓN

En este capítulo se hará la presentación de las diferentes comparaciones, procedimientos, métodos, guías y datos recopilados para poder llegar a la producción del compuesto inhibidor de corrosión final.

Partiendo de una revisión bibliográfica que implica la selección de material orgánico al cual se le hará la extracción de compuestos antioxidantes (polifenoles), pretratamientos del material orgánico sólido, evaluación de compuestos fenólicos, y sometimiento de el compuesto a un ambiente corrosivo en conjunto con la *Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá*, entre otras pruebas y análisis.

La finalidad es poder llegar a sintetizar una pintura con propiedades anticorrosivas que pueda ser tomada como opción fiable y efectiva.

### **2.1. Cuadro comparativo para la selección del material orgánico que se utilizara en la producción del anticorrosivo**

Teniendo en cuenta que existen gran cantidad de frutas cuya composición demuestra su utilidad para ser tomadas en cuenta en el proceso de elaboración del aditivo anticorrosivo del presente proyecto se ha optado por hacer un cuadro comparativo con el cual se realizará la toma de decisiones concerniente a la selección de la materia prima que se utilizará a lo largo del trabajo, se tendrán en cuenta características como la composición del fruto y su disponibilidad (produce material residual y es fácil de conseguir), además de aspectos como la presencia de polifenoles en su estructura y la química verde.

Posterior a la selección se realizará la adecuada caracterización del material orgánico.

**Frutas seleccionadas:** Naranja, mango, limón, arándano y maracuyá.

Figura 21.

Cuadro comparativo de frutas con potencial antioxidante

Fruta	Descripción	Presencia de Polifenoles	Disponibilidad
Naranja	<p><b>Nombre científico:</b> <i>Citrus x sinensis</i>. La naranja es un fruto de forma redonda, cuyo color es igual a su nombre que tiene mayor consumo en épocas de invierno. Su pulpa es también de color anaranjado y de sabor cítrico, esta pulpa se puede consumir fresca o en zumos, tiene semillas y su piel es gruesa [24].</p>	<p><b>Polifenoles de la naranja:</b> Para la naranja, según el estudio aplicado a cítricos de nombre <u>polifenoles totales y capacidad antioxidante en cascara y hojas de doce cítricos</u>; La mayor concentración fenólica disponible se encuentra en la cascara o piel del fruto (siendo esta de <math>1,40 \pm 0,04</math> GAE/ 100 gramos de muestra para la naranja valencia [25].</p>	<p>Es el cítrico con mayor cultivo en Colombia, contando con aproximadamente 40000 hectáreas de cultivo y produciendo 283 mil toneladas de fruto aproximadamente [26].</p> <p><b>¿Produce materia orgánica residual? ¿Cuál?</b></p> <p>Si, generalmente de la naranja se consume su pulpa y en la mayoría de los casos se desecha la cascara y las semillas.</p>
Mango	<p><b>Nombre científico:</b> <i>Mangifera indica</i>. El mango es una fruta tropical con forma ovalada, cuya cascara y pulpa tienen diferente coloración dependiendo de la variedad del fruto en si (la cascara tiende a ser de un color verde, amarillo y rojizo en su proceso de maduración y la pulpa varia de un color</p>	<p><b>Polifenoles del mango:</b> El mango cuenta con compuestos fenólicos presentes en la cascara del fruto y también en su semilla, en la <i>Evaluación del efecto antioxidante del extracto polifenólico de la almendra del mango</i>, se reportó una cifra aproximada de</p>	<p>Según el ministerio de agricultura y desarrollo rural, el área cultivada de mango reportada para el año 2020 fue de 26158 hectáreas y la cantidad total producida fue de casi 280 mil toneladas, siendo los mayores departamentos productores del fruto: Cundinamarca, Tolima y Magdalena [29].</p>

	<p>amarillo a uno verde en el mismo proceso) además, cuenta con hueso en su interior [27].</p>	<p>19,26±0,09 GAE/ 100 gramos de muestra seca de la semilla [28].</p>	<p><b>¿Produce materia orgánica residual? ¿Cuál?</b></p> <p>Mayormente se consume su pulpa y se desecha la almendra y la cascara.</p>
<p>Limón</p>	<p><b>Nombre científico:</b> <i>Citrus Limón</i>. El limón es una fruta agria, perteneciente a la familia de las rutáceas. Es un fruto con forma ovalada y un poco alargada de piel gruesa; posee una tonalidad variable tanto en su piel como en su pulpa que va de un color amarillo a tonalidades verdes, generalmente su sabor es amargo y tiene semillas en su interior [30].</p>	<p><b>Polifenoles del limón:</b> Tomando como base el mismo estudio presentado para el caso de la naranja (aplicado para cítricos) se tienen como resultados obtenidos valores entre 0,79 y 1,51 GAE/ 100 gramos de muestra para las diferentes variedades de limón y valores entre 1,90 y 2,32 GAE/ 100 gramos de muestra para el caso de las hojas que presenta su planta [25].</p>	<p>Después de la naranja es el segundo cítrico con mayor cabida dentro de la red de cultivos de este tipo de frutos en el país, teniendo más de 33000 hectáreas de cultivo y produciendo alrededor de 161 mil toneladas del fruto [26].</p> <p><b>¿Produce materia orgánica residual? ¿Cuál?</b></p> <p>De la misma forma que con la naranja, el limón es utilizado para zumos y otras preparaciones en las cuales se utiliza también la cascara, pero en una cantidad mínima, la cascara no utilizada así como sus semillas se tomarían en cuenta como material orgánico residual.</p>

<p>Arándano</p>	<p><b>Nombre científico:</b> <i>Vaccinium myrtillus</i>.          Los arándanos son bayas esféricas carnosas que se producen en su mayoría en zonas del hemisferio norte, su color o tonalidad representativa es la de un negro azulado en la mayoría de los casos.          Tiene un sabor ácido – dulce, cuenta con semillas y se consume entero en la gran mayoría de los casos [31].</p>	<p><b>Polifenoles del arándano:</b> Los arándanos presentan una importante cantidad de compuestos fenólicos, según el artículo <i>Anti-atherosclerotic effects of fruit bioactive compounds: A review of current scientific evidence</i> en su composición al ser frutos del bosque, un puñado de arándanos ya madurados puede proporcionar entre 200 y 400 GAE/100 gramos de muestra [32], [33].</p>	<p>El arándano común es un fruto con una expansión territorial relativamente nueva pero que ha tomado un buen auge en los últimos años. Para el año 2017 la cantidad de hectáreas de arándano producidas fueron 120, y para el año 2020 la cifra se cuadruplicó alcanzando las 500 hectáreas [34].          Según Agrosavia, el departamento con mayor producción de arándanos fue Boyacá para el año 2020, teniendo un área cosechada de más de 126 hectáreas y una cantidad aproximada de cultivo recolectado de 850 toneladas [35]</p> <p><b>¿Produce materia orgánica residual? ¿Cuál?</b></p> <p>El arándano suele ser consumido en su totalidad puesto que es una baya con semillas casi indetectables, se come completo o se utiliza en preparaciones como postres y otros, podría decirse que se obtendrían residuos si se desechara una porción del fruto después de ser utilizado en preparación de zumos.</p>
-----------------	--	---	--

<p>Maracuyá</p>	<p><b>Nombre científico:</b> <i>Passiflora edulis</i>. Comúnmente conocida como fruta de la pasión, el maracuyá es un fruto tropical que proviene de la familia <i>Passiflora</i>, de la cual es consumida mayormente la pulpa; la forma de su cascara es ovalada y de color amarillo en su punto de maduración y su pulpa generalmente es de un color amarillo-anaranjado con pequeñas semillas negruzcas, esta pulpa tiene un sabor amargo/dulce dependiendo de la maduración del fruto [36].</p>	<p><b>Polifenoles del maracuyá:</b> El maracuyá presenta concentraciones variables de polifenoles en su composición, una cantidad inicial aproximada según el estudio <i>Los extractos de polifenoles de tres pasifloras colombianas (frutas de la pasión) previenen la disfunción de la barrera inducida por la inflamación de las células CaCo<sub>2</sub></i> da como resultado un valor de <math>1,18 \pm 0,01</math> GAE/ 100 gramos de muestra [37]. Se sabe que los mayores constituyentes de la piel del maracuyá son: flavonoides, alcaloides y pectina [38].</p>	<p>Para el primer trimestre del año 2021, según el ministerio de agricultura se tiene registro de 20989 hectáreas de maracuyá cultivado, con una producción de casi 230 mil toneladas de fruto, siendo Antioquia y Huila los mayores productores de la <i>Passiflora</i> a nivel nacional [39].</p> <p><b>¿Produce materia orgánica residual? ¿Cuál?</b></p> <p>El maracuyá es un fruto del cual se consume mayormente su pulpa y la cascara deshidratada es objeto de investigación.</p>
-----------------	---	--	---

**Nota.** La figura muestra la comparación entre 5 frutas para el proyecto.

### 2.1.1. Composición de los frutos

A continuación, se presentan las composiciones de cada fruto seleccionado como posible sustrato del proyecto, con el fin de dar entendimiento de su carácter químico.

**Tabla 1.***Composición de la naranja*

<b>Composición de la naranja</b>			
<b>Energía</b>	37 - 51 Kcal	<b>Proteínas</b>	0.9 - 1.1 Kcal
<b>Lípidos</b>	0.10 - 0.40 g	<b>Carbohidratos</b>	8.25 - 10.2 g
<b>Fibras</b>	1.60 - 1.70 g		
<b>Minerales</b>		<b>Vitaminas liposolubles</b>	
<b>Calcio</b>	34 - 47 mg	<b>A Retinol</b>	0 - 10 µg
<b>Cinc</b>	0.10 - 0.14 mg	<b>A Carotenoides</b>	28 - 1220 µg
<b>Cloro</b>	3 - 4 mg	<b>E o Tocoferol</b>	0.24 - 0.32 mg
<b>Fosforo</b>	20 - 23 mg	<b>K o Filoquinona</b>	3.75 µg
<b>Hierro</b>	0.100 - 0.400 mg	<b>B1 o Tiamina</b>	0.079 - 0.110 mg
<b>Magnesio</b>	10 - 14 mg	<b>B2 o Riboflavina</b>	0.04 - 0.053 mg
<b>Manganeso</b>	0.025- 0.038 mg	<b>B3 o Niacina</b>	0.4 - 0.5 mg
<b>Potasio</b>	150 - 177 mg	<b>B5 o Ác. Pantoténico</b>	0.24 - 0.37 mg
<b>Selenio</b>	1 - 1.19 µg	<b>B6 o Piridoxina</b>	0.100 - 0.104 mg
<b>Sodio</b>	1.4 - 5 mg	<b>B9 o Ác. Fólico</b>	49.35 - 58 mg
<b>Yodo</b>	1.2 - 3.5 µg	<b>C o Ác. Ascórbico</b>	49.35 - 58 mg

**Nota.** La tabla muestra la composición diversa de la naranja, incluyendo la cantidad de minerales y vitaminas solubles en la misma. tomado de: "Naranja, Citrus sinensis / Rutaceae," *Naranja - Información general*. [Online]. Available: <https://www.frutas-hortalizas.com/Frutas/Presentacion-Naranja.html>

**Tabla 2.***Composición del mango*

<b>Composición del mango</b>			
<b>Energía</b>	57 - 60 Kcal	<b>Proteínas</b>	0.5 - 0.7 Kcal
<b>Lípidos</b>	0.20 - 0.45 g	<b>Carbohidratos</b>	12.45 - 14.10 g
<b>Fibras</b>	1.70 - 2.60 g		
<b>Minerales</b>		<b>Vitaminas liposolubles</b>	
<b>Calcio</b>	9 - 12 mg	<b>A Retinol</b>	0-201.21 µg
<b>Cinc</b>	0.1 - 0.13 mg	<b>A Carotenoides</b>	1250 -1800 µg
<b>Cloro</b>	-	<b>E o Tocoferol</b>	1.00-1.05 mg
<b>Fosforo</b>	10.4 - 16 mg	<b>K o Filoquinona</b>	-
<b>Hierro</b>	0.16 - 0.7 mg	<b>B1 o Tiamina</b>	0.040-0.045 mg
<b>Magnesio</b>	12.60 -18.00 mg	<b>B2 o Riboflavina</b>	0.050-0.050 mg
<b>Manganeso</b>	0.170 -0.300 mg	<b>B3 o Niacina</b>	0.5 - 0.5 mg
<b>Potasio</b>	115.00 -190.00 mg	<b>B5 o Ác. Pantoténico</b>	0.16 - 0.16 mg
<b>Selenio</b>	0.60 - 0.60 µg	<b>B6 o Piridoxina</b>	0.13 - 0.13 mg
<b>Sodio</b>	2.00 -13.50 mg	<b>B9 o Ác. Fólico</b>	23 - 37.34 mg
<b>Yodo</b>	1.60 -1.60 µg	<b>C o Ác. Ascórbico</b>	23- 37.34 mg

**Nota.** La tabla muestra la composición diversa del mango, incluyendo la cantidad de minerales y vitaminas solubles en la misma. tomado de: "Mango, Magnifera indica / Anacardiaceae," *Mango - Información general*. [Online]. Available: <https://www.frutas-hortalizas.com/Frutas/Presentacion-Mango.html>

**Tabla 3.***Composición del limón*

<b>Composición del limón</b>			
<b>Energía</b>	19.00-37.00 kcal	<b>Proteínas</b>	0.50-1.00 kcal
<b>Lípidos</b>	0.30-1.00 g	<b>Carbohidratos</b>	1.90-3.20 g
<b>Fibras</b>	4.70-4.70 g		
<b>Minerales</b>		<b>Vitaminas liposolubles</b>	
<b>Calcio</b>	11.00-85.00 mg	<b>A Retinol</b>	0.000-0.56667 µg
<b>Cinc</b>	0.100-0.106 mg	<b>A Carotenoides</b>	3.40-18.0 µg
<b>Cloro</b>	4.50-5.00 mg	<b>E o Tocoferol</b>	-
<b>Fosforo</b>	16.00-18.00 mg	<b>K o Filoquinona</b>	0.20-0.20 µg
<b>Hierro</b>	0.450-0.500 mg	<b>B1 o Tiamina</b>	0.037-0.051 mg
<b>Magnesio</b>	12.00-28.00 mg	<b>B2 o Riboflavina</b>	0.020-0.040 mg
<b>Manganeso</b>	0.042-0.042 mg	<b>B3 o Niacina</b>	0.20-0.40 mg
<b>Potasio</b>	149.00-150.00 mg	<b>B5 o Ác. Pantoténico</b>	0.23-0.23 mg
<b>Selenio</b>	1.00-1.02 µg	<b>B6 o Piridoxina</b>	0.060-0.110 mg
<b>Sodio</b>	2.70-5.00 mg	<b>B9 o Ác. Fólico</b>	50.68-58.00 mg
<b>Yodo</b>	1.49-1.49 µg	<b>C o Ác. Ascórbico</b>	50.68-58.00 mg

**Nota.** La tabla muestra la composición diversa del limón, incluyendo la cantidad de minerales y vitaminas solubles en la misma. tomado de: "Limón, Citrus limón / Rutaceae," *Limón - Informacin general*. [Online]. Available: <https://www.frutas-hortalizas.com/Frutas/Presentacion-Limon.html>

**Tabla 4.***Composición del arándano*

<b>Composición del arándano</b>			
<b>Energía</b>	30.00-36.23 kcal	<b>Proteínas</b>	0.60-0.60 kcal
<b>Lípidos</b>	0.20-0.60 g	<b>Carbohidratos</b>	6.08-6.90 g
<b>Fibras</b>	1.80-4.90 g		
<b>Minerales</b>		<b>Vitaminas liposolubles</b>	
<b>Calcio</b>	10.00-12.00 mg	<b>A Retinol</b>	0.00-5.71 µg
<b>Cinc</b>	0.108-0.200 mg	<b>A Carotenoides</b>	30.00-34.25 µg
<b>Cloro</b>	5.00-5.00 mg	<b>E o Tocoferol</b>	2.72-2.72 mg
<b>Fosforo</b>	13.00-14.00 mg	<b>K o Filoquinona</b>	-
<b>Hierro</b>	0.50-0.740 mg	<b>B1 o Tiamina</b>	0.020-0.030 mg
<b>Magnesio</b>	2.40-5.00 mg	<b>B2 o Riboflavina</b>	0.020-0.030 mg
<b>Manganeso</b>	0.300-0.840 mg	<b>B3 o Niacina</b>	0.40-0.40 mg
<b>Potasio</b>	65.00-88.00 mg	<b>B5 o Ác. Pantoténico</b>	0.160-0.250 mg
<b>Selenio</b>	1.00-3.00 mg	<b>B6 o Piridoxina</b>	0.050-0.060 mg
<b>Sodio</b>	-	<b>B9 o Ác. Fólico</b>	17.00-22.00 mg
<b>Yodo</b>	-	<b>C o Ác. Ascórbico</b>	17.00-22.00 mg

**Nota.** La tabla muestra la composición diversa del arándano, incluyendo la cantidad de minerales y vitaminas solubles en la misma. Tomado de: "Arándano, *Vaccinium myrtillus* / Ericaceae," *Arándano - Informacin general*. [Online]. Available: <https://www.frutas-hortalizas.com/Frutas/Presentacion-Arandano.html>

**Tabla 5.***Composición del maracuyá*

<b>Composición del maracuyá</b>			
<b>Energía</b>	36.00-89.00 kcal	<b>Proteínas</b>	2.40-2.60 kcal
<b>Lípidos</b>	0.40-3.50 g	<b>Carbohidratos</b>	5.80-11.80 g
<b>Fibras</b>	1.45-3.30 g		
<b>Minerales</b>		<b>Vitaminas liposolubles</b>	
<b>Calcio</b>	3.30-17.00 mg	<b>A Retinol</b>	0.00-108.83 µg
<b>Cinc</b>	0.650-0.800 mg	<b>A Carotenoides</b>	710.00-750.00 µg
<b>Cloro</b>	57.00-64.00 mg	<b>B1 o Tiamina</b>	0.020-0.030 mg
<b>Fosforo</b>	0.750-1.30 mg	<b>B2 o Riboflavina</b>	0.100-0.120 mg
<b>Hierro</b>	28.80-29.00 mg	<b>B3 o Niacina</b>	1.500-1.500 mg
<b>Magnesio</b>	0.460-0.460 mg	<b>B5 o Ác. Pantoténico</b>	-
<b>Potasio</b>	200.00-349.00 mg	<b>B6 o Piridoxina</b>	-
<b>Selenio</b>	0.200-0.200 µg	<b>B9 o Ác. Fólico</b>	-
<b>Sodio</b>	14.60-19.00 mg	<b>C o Ác. Ascórbico</b>	-

**Nota.** La tabla muestra la composición diversa del maracuyá, incluyendo la cantidad de minerales y vitaminas solubles en la misma. Adaptado de: "Fruta de la pasión, *Passiflora edulis* / *Passifloraceae*," *Fruta de la Pasión - información general*. [Online]. Available: <https://www.frutas-hortalizas.com/Frutas/Presentacion-Fruta-de-la-pasion.html>

### **2.1.2. ¿Por qué estas frutas?**

Se tomaron los 2 críticos más conocidos (naranja y limón) debido a que, como explica el artículo "*polifenoles totales y capacidad antioxidante en cascara y hojas de doce cítricos*" son frutos con presencia de grupos fenólicos en su composición lo cual les confiere una capacidad antioxidante a tener en cuenta [25], El mango, debido a que, según estudios recientes, también cuenta con una presencia considerable de polifenoles no solo en la composición química de su cascara, sino en su pepa [28], los arándanos son los frutos, según la bibliografía, que tienen mayor cantidad de polifenoles al ser frutos del bosque (más que las moras y las fresas) [32] y el maracuyá debido a que es una fruta tropical que se puede conseguir con relativa facilidad, además de otros compuestos notables (flavonoides, alcaloides y pectina) [38].

## **2.2. Matriz de selección del material orgánico**

Junto a la elaboración del anterior cuadro comparativo se realizó una matriz de selección de la materia prima que se va a utilizar para la elaboración del anticorrosivo, los principales criterios de selección de la matriz fueron: La evidente presencia de compuestos fenólicos en su composición según la literatura, su accesibilidad y una que a consideración propia es bastante importante, la producción de material orgánico residual.

A mayor cantidad de polifenoles presentes, se efectúa una mayor capacidad antioxidante, la accesibilidad establecerá que tan fácil es la recolección del material orgánico (disponible todo el año o solo en determinadas épocas, climas, lugares, etc.) y la producción de material orgánico residual (el cual es el que generalmente se desecha por no encontrar o dedicar investigación a usos derivados y potencial industrial, como semillas, tallos y cascaras) determinara que fruta si produce este material derivado que pueda ser aprovechable.

Figura 22.

Matriz de decisión de material orgánico

Matriz de decisión de la materia orgánica para fabricar el inhibidor				
Fruta	Presencia de polifenoles	Accesibilidad	Contexto regional	Produce materia orgánica residual
Naranja	1,40 ± 0,04 GAE/ 100 gramos de muestra seca	<p><b>Área sembrada:</b> Poco más de 40000 hectáreas cultivadas, se produce en periodos largos de tiempo y se adapta a climas fríos, pero se prefiere recolectar en épocas cálidas.</p> <p><b>Clima:</b> Tropical, con rangos de temperatura aceptables de 23 y 34°C, rangos pluviales de 900 a 1200 mm que soportaran la humedad adecuada para los suelos y cambios altitudinales de 700 a 900 msnm.</p> <p><b>Transporte:</b> Naves hortofrutícolas o contenedores que protejan el fruto de agentes adversos, su distribución se hace a través de camiones.</p> <p><b>Adaptación:</b> Se adaptan bien a zonas tropicales y se recomienda conservar en zonas con bajas temperaturas para evitar la pérdida de agua [24].</p>	Según el Dane, las cifras entregadas para la producción de naranja reportan como mayores departamentos productores Quindío, Valle del Cauca, y Meta, y como productor principal a Antioquia [40].	Si (cascara)

Fruta	Presencia de polifenoles	Accesibilidad	Contexto regional	Produce materia orgánica residual
Mango	19,26 ± 0,09 GAE/ 100 gramos de muestra seca	<p><b>Área sembrada:</b> 26158 hectáreas, se puede recolectar casi todo el año.</p> <p><b>Clima:</b> Tropical medio, con temperaturas variables de los 10 a los 34 °C, preferiblemente en zonas con buena luminosidad que contribuyen a la maduración.</p> <p><b>Transporte:</b> Se pueden envasar en cajas de cartón ondulado de tapa larga, con las mismas condiciones de temperatura para la preservación</p> <p><b>Adaptación:</b> Es capaz de soportar periodos de sequía, siendo los climas tropicales y subtropicales los de mayor rendimiento [27].</p>	La producción a nivel nacional de mango en Colombia se constituye en su mayoría en 13 departamentos de los cuales se destacan Cundinamarca, Tolima y Magdalena, que representan el 68% de la red de cultivos del fruto en el país [41].	Si (cascara y semilla)

Fruta	Presencia de polifenoles	Accesibilidad	Contexto regional	Produce materia orgánica residual
Limón	entre 0,79 y 1,51 GAE/100 gramos de muestra	<p><b>Área sembrada:</b> 33000 hectáreas de cultivo, condiciones parecidas a las de la naranja.</p> <p><b>Clima:</b> Tropical, las condiciones son parecidas a la de la naranja ya que son cítricos.</p> <p><b>Transporte:</b> Se transportan y se venden en cajas de madera o bolsas de malla por disponibilidad de peso.</p> <p><b>Adaptación:</b> Las condiciones de adaptación del limón son similares a las de la naranja con porcentajes de humedad relativa que alcancen el 95% [30].</p>	El departamento de Santander es el mayor productor de limón en la nación, siendo la variedad de limón Tahití la más cultivada, contando con una participación en el mercado de exportaciones del 83% [42].	Si (cascara)

Fruta	Presencia de polifenoles	Accesibilidad	Contexto regional	Produce materia orgánica residual
<b>Arándano</b>	entre 200 y 400 GAE/100 gramos de muestra	<p><b>Área sembrada:</b> 500 hectáreas para el año 2020, mejor acogida en climas fríos (Boyacá es el mayor productor).</p> <p><b>Clima:</b> Frio, sin llegar a ser extremo, con suelos finos y fibrosos.</p> <p><b>Transporte:</b> Envasado preferiblemente en cubetas PEB y cajas plásticas para ser transportado en camiones con sistema de refrigeración controlado no menor a los 0°C.</p> <p><b>Adaptación:</b> Normalmente se acogen a suelos con un pH en un rango de 4,5 a 5,2 de carácter arenoso y soportan las bajas temperaturas considerablemente [43].</p>	En el país, según una investigación reportada por la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales [43] los mayores productores de arándano son los departamentos de Antioquia, Boyacá y Cundinamarca [43].	No (se consume en su totalidad)

Fruta	Presencia de polifenoles	Accesibilidad	Contexto regional	Produce materia orgánica residual
Maracuyá	1,18 ± 0,01 GAE/ 100 gramos de muestra	<p><b>Área sembrada:</b> Casi 21000 hectáreas para el primer trimestre del 2021, con afinidad por climas fríos (mayor productor: Antioquia y Huila).</p> <p><b>Clima:</b> Tropical medio, con temperaturas aceptables en un rango de los 20 a los 30°C, presentan mayores rendimientos en un rango altitudinal que comprende los 400 a los 800 msnm y una precipitación o rango pluvial de 900 1500 msnm</p> <p><b>Transporte:</b> Se recomienda refrigeración con periodos superiores a una semana post cosecha, antes de esto se pueden conservar en cuartos aislados con temperaturas entre 7 y 10 °C.</p> <p><b>Adaptación:</b> Puede cultivarse hasta los 1300 msnm, por debajo de los 200 msnm presentan enfermedades. Pueden desarrollarse en suelos arenosos, con un buen drenaje natural y con pH entre 5,5 y 6,8 [36].</p>	Según Agrosavia, los cuatro departamentos con mayor participación en el cultivo de la fruta de la pasión son Antioquia, Huila, Meta y Tolima, siendo el Huila el departamento con mayor producción [44].	Si (cascara)

**Nota.** La figura muestra la matriz de decisión con la elección del mango como sustrato del proyecto para el anticorrosivo final.

### **2.2.1. Verificación del material orgánico residual para la fabricación del aditivo**

Después de la recolección de las semillas de mango provenientes de la industria agrícola, alimenticia, etc. se realiza un proceso de inspección de las mismas vigilando los siguientes aspectos:

1. Que el fruto no presente más de una semana de haber sido consumido, para que los desechos conjuntos no les provean características adversas a las semillas (putrefacción), preferiblemente se puede hacer una recolección del material orgánico tomando como ejemplo plazas de mercado, donde se ha consumido la pulpa del fruto el mismo día.
2. El endocarpio leñoso que las cubre no debería presentar fracturas, pues este mismo protege la almendra de los agentes atmosféricos y las condiciones extremas a las cuales puede estar sometido el fruto.
3. Preservar las semillas preferiblemente a temperaturas entre 7 y 15°C, que equivalen al rango de conservación de todo el fruto después de la cosecha, manteniéndolo en un ambiente con humedad de entre 90 y 95% (ambientes frescos, ventilados y limpios) [27].
4. Las almendras deben presentar una coloración o tonalidad blanca luego del lavado con agua a temperatura ambiente (rango variable de 15 a 22 °C), con posibles parches cafés que se removerán en el mismo proceso de lavado.
5. Descartar las semillas que tengan exceso de humedad o filtraciones en el endocarpio leñoso, pues la humedad prolongada puede dañar la almendra o cambiar los resultados esperados.

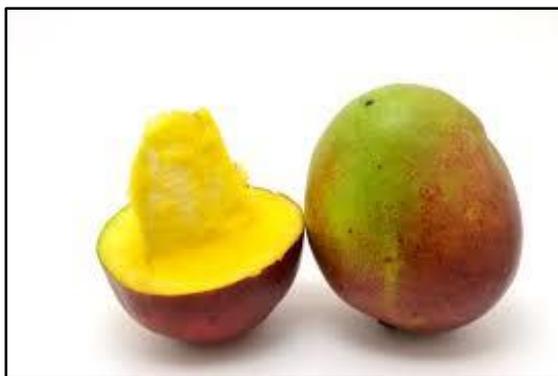
Todos los procesos de recolección y verificación deberán hacerse con las debidas medidas de higiene (uso de guantes, tapabocas, equipo de recolección etc.) con el fin de no alterar los resultados por agentes externos.

### 2.3. Pretratamiento del sustrato

Se recolectaron semillas/pepas de mango procedentes de residuos de la industria agrícola o alimenticia (derivados del procesamiento o utilización de pulpas para jugos, postres, preparación de ensaladas, etc.) en plazas de mercado como la plaza de las flores y la plaza de Paloquemao ubicadas en la ciudad de Bogotá, además de utilizar las semillas residuo de preparaciones caseras propias, y se les realizó una correspondiente limpieza de residuos carnosos de la fruta en estado de maduración.

**Figura 23.**

*Mango común y su semilla*



**Nota.** La figura muestra un mango en estado de maduración en el proceso de despulpado para dejar al descubierto su semilla. Tomado de: “Semilla De Mango: Característica, USO y cultivo,” *Sembrar100*, 17-Aug-2022. [Online]. Available: <https://www.sembrar100.com/arboles/mango/semilla/>

El objetivo principal es poder retirar la almendra o semilla primigenia del mango, la cual está protegida por una capa secundaria, caparazón, o endocarpio leñoso, que le confiere a la misma una forma ovoide, oblonga y alargada, en sí, la almendra del mango no tiene forma específica [45].

Según el estudio “*Evaluación del efecto antioxidante del extracto poli fenólico de la almendra del mango (Mangifera Indica L.) Var. Magdalena river.*” Y para efectos del

presente proyecto, se han encontrado compuestos fenólicos presentes en la semilla primigenia del fruto, estos polifenoles serán el sustrato que se analizara como posible inhibidor de corrosión, además de generar un valor agregado a los residuos procedentes de la industria del mango, y así se podría mitigar de cierta forma el impacto ambiental que generan los aditivos convencionales [15].

El proceso de separación tradicional de la almendra del mango del endocarpio fibroso o caparazón protector reportado en la bibliografía “*Evaluación del efecto antioxidante del extracto polifenólico de la almendra del mango (Mangifera Indica L.) var. Magdalena river*” plantea un corte transversal y separación manual de la almendra del mango como se muestra a continuación [28]:

**Figura 24.**

*Corte efectuado para liberar la almendra*



**Nota.** La figura muestra el corte transversal efectuado para retirar la almendra.

Para efectos de una investigación en la cual se quiera mejorar el proceso de separación mecánico del endocarpio de la almendra se propone que en caso de que el caparazón presente características de rigidez elevada que dificulten el proceso de corte se haga uso de un equipo de prensado, pues aplicando suficiente fuerza a el caparazón rígido se podría romper haciendo más sencillo el proceso de separación. Caso contrario a que el endocarpio presente humedad que le confiera propiedades elásticas, para ello se propone:

1. Uso de una guillotina de laboratorio para corte transversal.

**Figura 25.**

*Guillotina de laboratorio*



**Nota.** La figura muestra un equipo de corte común de laboratorio. Tomado de: “Equipo de Uso Veterinario para bioterio: Animales de Laboratorio: Insumos, bebederos Y accesorios,” *Circulo ADN*. [Online]. Available: <https://www.circuloadn.com.mx/site/producto/guillotina-para-roedores>

2. Uso de un molino triturador ajustando el tamaño de partícula para la diferenciación del material aprovechable.

**Figura 26.**

*Almendra del mango retirada del endocarpio leñoso y limpia*



**Nota.** La imagen muestra la almendra después de ser retirada de la capa que la recubre, y posterior, limpia y lista para ser secada.

Después de ser retirada, se le hará un proceso de secado en dos partes. La primera parte del secado se hará a temperatura ambiente (climas que oscilan entre los 15 y los 20 °C en Bogotá), por un periodo de 2 días, luego, la segunda parte del secado se efectuará en un horno a una temperatura entre los 50 y los 70 °C por 1 día con el fin de evaporar la cantidad de humedad que pueda retener la muestra, para que la misma no influya en los análisis siguientes (la muestra que ingresa al horno se dividirá con el fin de tener una superficie de secado más dispersa).

Posterior a esto, teniendo la muestra seca, se realizará un proceso de disminución de tamaño de partícula mediante una procesadora de alimentos.

**Figura 27.**

*Almendra de mango procesada y empacada en un envase esterilizado*



**Nota.** La figura muestra la almendra del mango en polvo después de ser procesada y empacada antes de los posteriores ensayos de laboratorio.

**Figura 28.**

*Almendra de mango lista para el proceso de extracción de polifenoles*



**Nota.** La figura muestra la almendra de mango limpia y seca lista para el proceso de extracción de compuestos fenólicos.

**Tabla 6.**

*Resumen de datos del pretratamiento de la fruta*

<b>Resumen de datos pretratamiento</b>		
	Tiempo de secado (h)	Temperatura de secado (°C)
Ambiente	48	15 - 20
Horno	24	50 - 70
Total	72	-

**Nota.** La tabla muestra los datos recopilados para el pretratamiento de la almendra del mango.

## 2.4. Extracción de polifenoles mediante el método Soxhlet

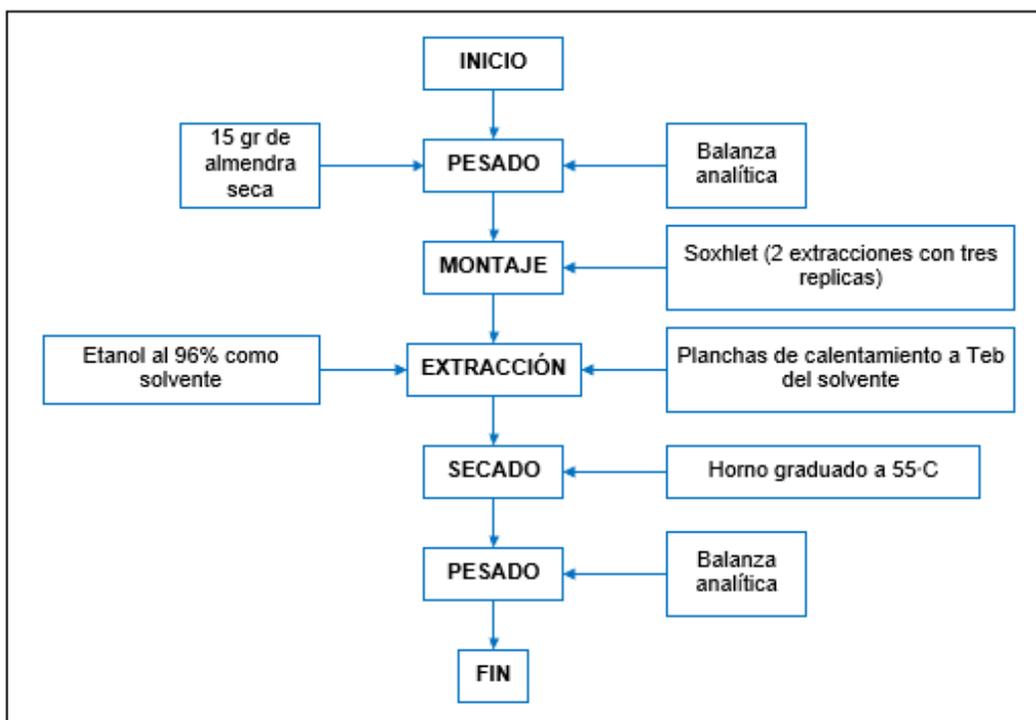
El ensayo de extracción de compuestos lipídicos por el método de soxhlet se realizó como se explica en el inciso 1.10 del marco teórico en las instalaciones de la Universidad de América, utilizando el equipo tradicional de vidrio y una plancha de calentamiento [18].

Para la extracción de los polifenoles se realizaron 6 montajes soxhlet en rondas de 3 montajes al mismo tiempo (es decir, se hicieron 2 extracciones, cada una con 3 montajes).

Como carga se usaron 15 g de Almendra de mango deshidratada y molida para cada montaje, pesadas en una balanza analítica, luego, el material orgánico se colocó en el papel filtro y se ajustó debidamente en el sifón soxhlet para la extracción.

**Figura 29.**

*Diagrama de flujo del proceso de extracción soxhlet*



**Nota.** El diagrama muestra el proceso resumido para la extracción con el equipo soxhlet.

**Figura 30.**

*Medida en balanza a 4 cifras significativas*



**Nota.** Medida de 15 g en peso de almendra seca en balanza analítica.

**Figura 31.**

*Tres montajes soxhlet en serie*



**Nota.** La figura muestra 3 montajes típicos soxhlet conectados en serie.

**Tabla 7.**

*Especificaciones de extracción para los montajes soxhlet*

# de montaje	Masa de carga (g)	Solvente utilizado	Volumen de solvente (ml)	Número de ciclos	Tiempo promedio por ciclo (min)
1	15	Etanol	150	4	24:50
2	15	Etanol	150	4	26:47
3	15	Etanol	150	4	25:15
4	15	Etanol	150	4	23:24
5	15	Etanol	150	4	27:32
6	15	Etanol	150	4	22:58

**Nota.** La tabla muestra las especificaciones de entrada y salida durante el proceso de extracción del compuesto antioxidante.

Luego de obtener el extracto concentrado, se realizó un proceso de secar durante 4 días, (véase sección de resultados).

## **2.5. Determinación de polifenoles totales con el método de Folin – Ciocalteu**

Para la determinación de fenoles totales presentes en el extracto de la almendra del mango posterior a la extracción sólido – líquido de los aceites esenciales de la misma, se optó por seguir el método de cuantificación utilizando un patrón de ácido gálico y el reactivo de Folin – Ciocalteu, además, se tomaron como referencia los estudios titulados: “*Medición de Fenoles y Actividad Antioxidante en Malezas Usadas para Alimentación Animal*” [46] y “*Determinación de polifenoles totales por el método de Folin – Ciocalteu*” [47].

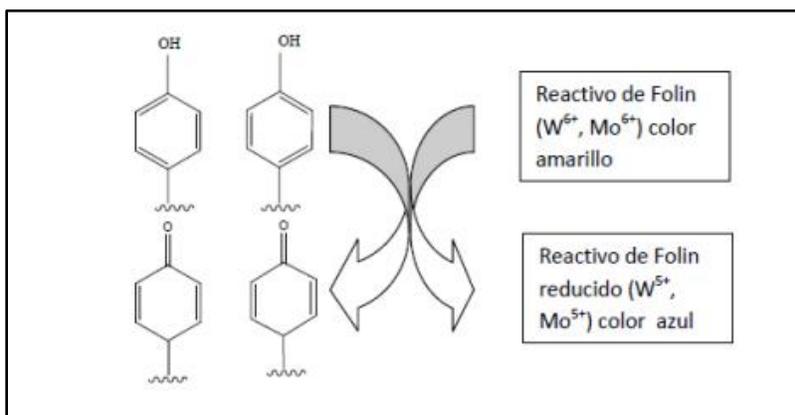
### **2.5.1. ¿De qué trata?**

El método de cuantificación de fenoles totales con el reactivo Folin – Ciocalteu evalúa la capacidad de los compuestos fenólicos al reaccionar con agentes oxidantes [46], el ensayo bien ejecutado da como resultado diluciones de tonalidad azul (esto debido a la presencia de molibdato ( $\text{Na}_2\text{MoO}_4$ ) y tungstato sódico ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ) en la composición del reactivo, los cuales propician la oxidación de cualquier fenol generando una coloración azul intensa), estas diluciones se pueden analizar mediante una curva de calibración de

fenoles con la lectura de la absorbancia en diferentes concentraciones con un espectrofotómetro a 760 nm [46].

**Figura 32.**

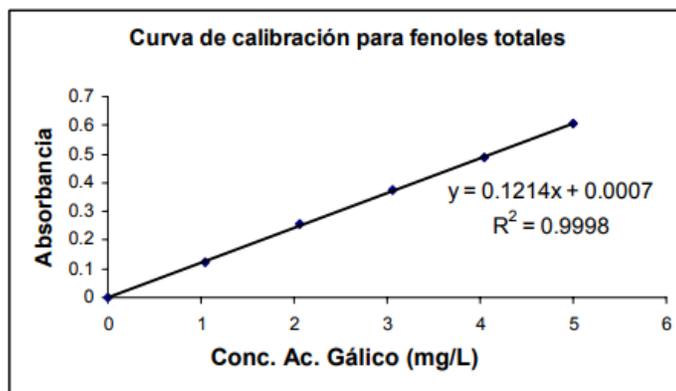
*Mecanismo de acción del reactivo Folin-Ciocalteu*



**Nota.** La imagen muestra el mecanismo de acción redox del reactivo, al ser una reacción de oxidación/reducción puede ser tomada en cuenta como una medida de analizar la capacidad antioxidante del compuesto. Tomado de: E. García, I. Fernández, A. Fuentes, "Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu," UPV, 09-Nov-2020. [Online]. Available: <https://riUNET.upv.es/bitstream/handle/10251/52056/Garcia%20Mart%C3%ADnez%20et%20al.pdf?sequence=1Consulta#:~:text=El%20ensayo%20Folin%2DCiocalteu%20se,determinada%20espectrofotom%C3%A9tricamente%20a%20765%20nm>

**Figura 33.**

*Ejemplo de la curva de calibración por absorbancia*



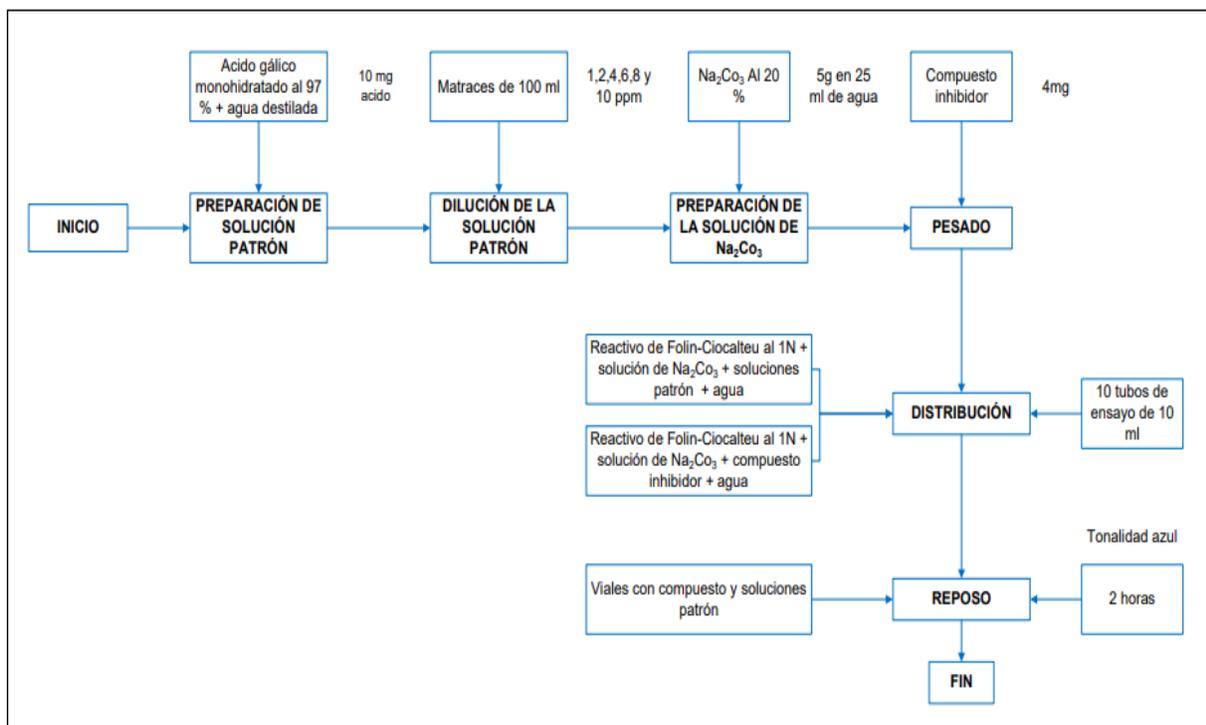
**Nota.** El gráfico muestra cómo debería quedar la curva de calibración después del ensayo de determinación de fenoles. Tomado de: D. Gutiérrez, C. Ortiz, A. Mendoza, "Medición de Fenoles y actividad Antioxidante en malezas usadas para alimentación animal" [Online]. Available: [https://cenam.mx/simposio2008/sm\\_2008/memorias/M2/SM\\_2008-M220-1108.pdf](https://cenam.mx/simposio2008/sm_2008/memorias/M2/SM_2008-M220-1108.pdf)

Según los 2 estudios mencionados anteriormente, la solución patrón de medición recomendado para el ensayo es una dilución de ácido gálico [46], [47].

## 2.5.2. Procedimiento

Figura 34.

Diagrama de flujo del proceso de preparación de soluciones con Folin-Ciocalteu



**Nota.** La figura muestra la ruta de proceso para poder hacer las soluciones patrón y las muestras con compuesto inhibidor.

a. Secado secundario de los extractos: después de obtener los aceites procedentes del método de soxhlet, se realiza un secado secundario de las muestras en un horno a una temperatura controlada con un rango de 55 a 60 °C para no desnaturalizar las muestras y que no se pierdan fenoles a temperaturas mayores, también con el fin de retirar toda la humedad de las muestras y precipitar el extracto de forma sólida.

El tiempo necesario para que las muestras se secan en el horno fue de aproximadamente 6 días (144 horas), esto con el fin de reducir casi por completo el volumen de solvente utilizado para la extracción con soxhlet.

**Figura 35.**

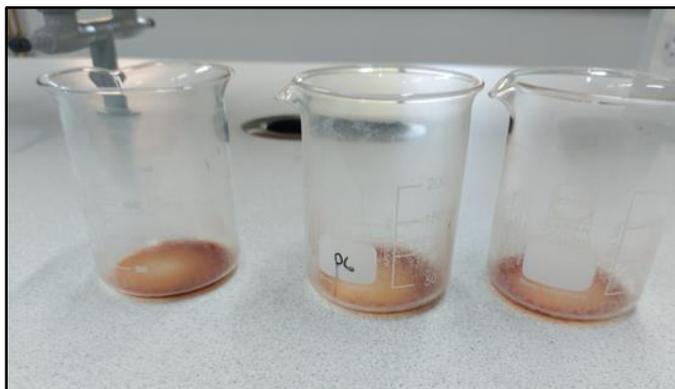
*Muestras listas para secado en el horno*



**Nota.** La figura muestra los extractos al momento del ingreso en el horno a 60 °C.

**Figura 36.**

*Muestras después del secado*



**Nota.** La figura muestra las muestras después del proceso de secado (aproximadamente 6 días de secado).

b. Materiales y reactivos utilizados para el ensayo

**Tabla 8.**

*Materiales y equipos requeridos para el ensayo de determinación de fenoles*

<b>Material</b>	<b>Reactivos</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Balanza analítica</li><li>• 10 tubos de ensayo de 10 mL</li><li>• 10 matraces aforados de 100 mL</li><li>• Agitador de tubos</li><li>• Vasos de precipitados de 600 mL</li><li>• Espectrofotómetro</li><li>• Pipetas de 1 y 10 mL</li><li>• Vidrio de reloj</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Acido gálico al 97%</li><li>• Carbonato de sodio</li><li>• Folin - Ciocalteu 2N</li><li>• Agua destilada</li></ul>

**Nota.** La tabla muestra los materiales de laboratorio y reactivos utilizados durante los ensayos de determinación de fenoles.

c. Preparación de las soluciones patrón y reactivos:

Se preparo una solución patrón de ácido gálico monohidratado tomando como referencia el procedimiento de [46], hasta llegar a una concentración de 0,1 g/L o 100 mg/L, para lo cual hay que tener en cuenta que se utilizó un matraz de 100 ml; a partir del volumen del mismo se realizó el cálculo de la cantidad de ácido gálico que se debía pesar para llegar a la concentración deseada llenando de agua destilada este matraz hasta el aforo de la forma que se presenta a continuación:

**Volumen del matraz:** 100 ml = 0,1 L

**Concentración deseada:** 100 mg/L = 0,1 g/L = 0,1 mg/ml

### Ecuación 5.

Cálculo de la cantidad requerida de ácido gálico para solución stock

$$\text{Concentración deseada} \cdot \text{Volumen del matraz} = \text{cantidad requerida de ácido gálico}$$

$$0,1 \frac{\text{mg}}{\text{mL}} (\text{concentración deseada}) \cdot 100 \text{ mL} (\text{volumen del matraz}) \\ = 10 \text{ mg ácido gálico}$$

**Nota.** La ecuación desarrollada muestra la cantidad que se debe pesar para llegar a la concentración de la solución stock.

10 mg de ácido gálico = 0,01 g de ácido gálico

**Figura 37.**

*Ácido gálico pesado y solución stock*



**Nota.** La figura muestra la cantidad de ácido gálico que se pesó para poder crear la solución stock, luego de llenar el volumen del matraz hasta el aforo.

A partir de la descripción de [47] con la solución stock (disolución madre) y teniendo en cuenta que 1ppm = 1 mg/L, se crearon 6 disoluciones diluidas de 1, 2, 4, 6, 8 y 10 ppm respectivamente para la generación de la curva, como se ve en la siguiente tabla:

**Tabla 9.**

*Curva patrón de ácido gálico a partir de una solución de 100 ppm*

<b>Concentración (mg/L) de las disoluciones patrón</b>						
<b>Reactivos</b>	<b>1 ppm</b>	<b>2 ppm</b>	<b>4 ppm</b>	<b>6 ppm</b>	<b>8 ppm</b>	<b>10 ppm</b>
Acido Gálico (mL)	1	2	4	6	8	10
Agua (mL)	99	98	96	94	92	90

**Nota.** La tabla muestra las cantidades que se necesitan para las correspondientes disoluciones patrón en matraces de 100 mL.

Las disoluciones se realizaron teniendo como base la ecuación de dilución:

**Ecuación 6.**

Ecuación de dilución de soluciones

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$$

La concentración 1 será la de la solución stock o madre de ácido gálico de 100 ppm en 100 ml de agua destilada, con ella se hallaron los correspondientes volúmenes.

Finalmente, siguiendo las indicaciones de [46] se preparó una solución de carbonato de sodio al 20% pesando 5g del compuesto y diluyéndolo en 25 mL de agua destilada, y se realizó una disolución 1N del reactivo Folin – Ciocalteu que viene en presentación 2N, utilizando la relación 1:2 en agua destilada.

d. Preparación de la solución con polifenoles: para la solución con polifenoles, se pesaron 4 mg de el extracto seco en una balanza analítica y después se procedió a realizar su dilución con agua destilada en un matraz de 100 mL.

**Figura 38.**

*Peso de la muestra seca y solución con polifenoles*



**Nota.** La figura muestra el peso del extracto seco utilizado para realizar la solución que se analizará con polifenoles, tomando como referencia [38].

e. Determinación de polifenoles totales y generación de la curva: se tomaron 10 tubos de ensayo marcados, sobre los cuales se agregaron determinadas cantidades de los reactivos preparados anteriormente (1 con agua destilada que será el blanco, 6 que contendrán las disoluciones patrón de ácido gálico y 3 réplicas de la solución con polifenoles) siguiendo el video [48], las cantidades se enmarcarán en la siguiente tabla:

**Tabla 10.***Cantidades utilizadas de reactivos para la determinación de la curva.*

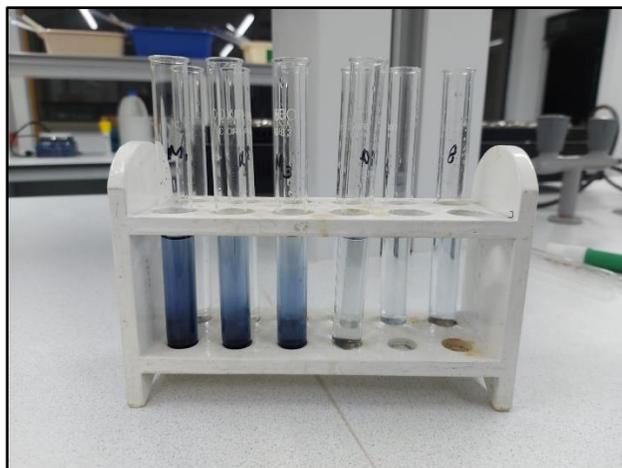
<b>Cantidades requeridas para la determinación de polifenoles totales</b>										
Reactivos	B	1 ppm	2 ppm	4 ppm	6 ppm	8 ppm	10 ppm	M1	M2	M3
Soluciones patrón de ácido gálico (tabla x)	-	0,5 mL	0,5 mL	0,5 mL	0,5 mL	0,5 mL	0,5 mL	-	-	-
Reactivo Folin - Ciocalteu	-	0,5 mL								
Solución con polifenoles	-	-	-	-	-	-	-	0,5 mL	0,5 mL	0,5 mL
Carbonato de sodio al 20 %	-	1 mL	1mL							
Agua destilada	10 mL	8mL								
Total	10 mL	10 mL	10 mL	10 mL	10 mL	10 mL	10 mL	10 mL	10 mL	10 mL

**Nota.** La tabla muestra las cantidades utilizadas para la determinación de polifenoles totales en el ensayo, tomando como referencia el video [48].

Después de haber agregado las cantidades de reactivos anteriormente descritas en cada vial, se dejarán reposando en oscuridad por aproximadamente 2 horas hasta que las que contienen la solución con polifenoles reaccionen con el reactivo de Folin – Ciocalteu, oxidándose y adquiriendo la tonalidad azul descrita en [46] y [47].

**Figura 39.**

*Tubos de ensayo con los reactivos después de 2 horas de reposo*

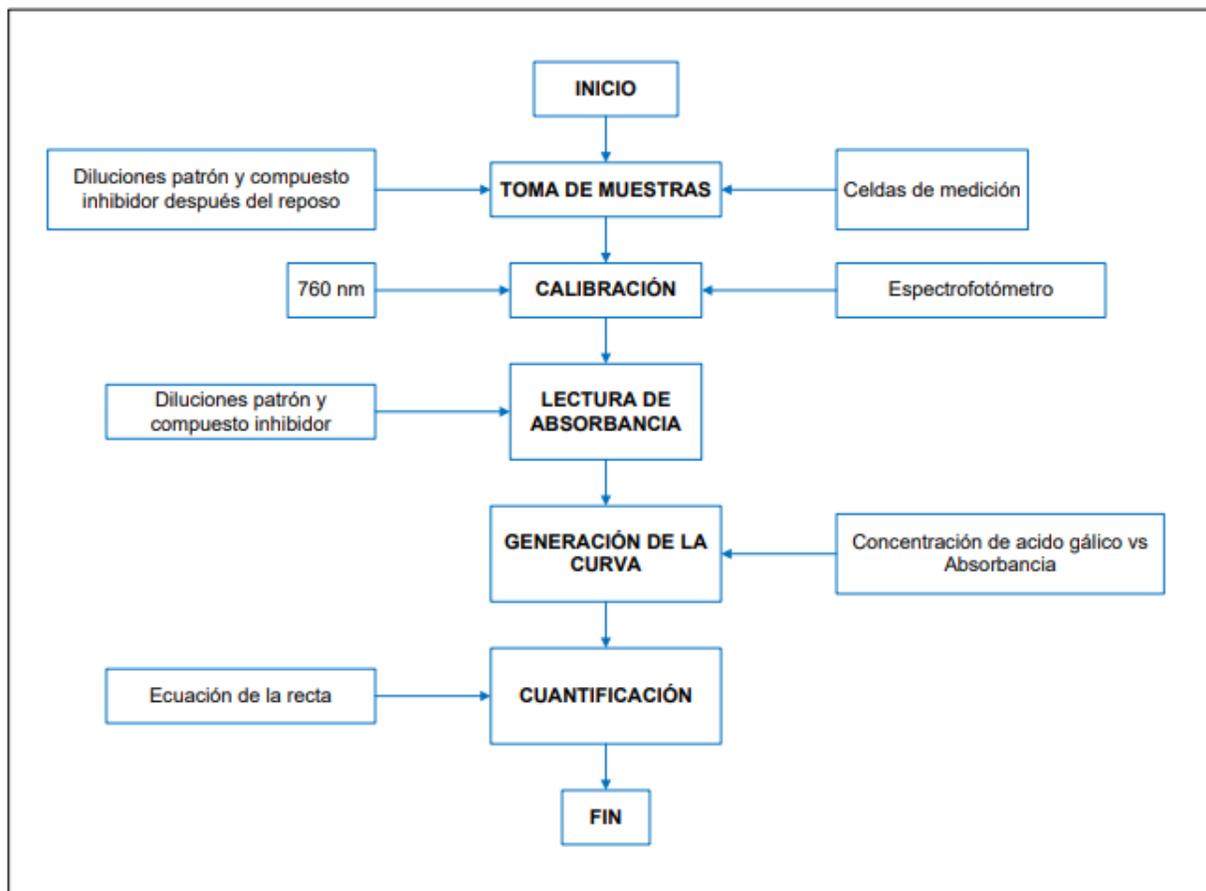


**Nota.** La figura muestra los 10 viales luego del reposo, los que contienen el reactivo de Folin – Ciocalteu con la solución de polifenoles se tornó de color azul intenso, lo que comprueba la hipótesis de la presencia de compuestos fenólicos en los extractos.

### 2.5.3. Curva de calibración

Figura 40.

Diagrama de flujo para la generación de la curva de calibración



**Nota.** La figura muestra los requerimientos para poder generar una curva de calibración a partir de la lectura de absorbancias en el espectrofotómetro.

Se tomarán alícuotas consecuentemente con los patrones de ácido gálico y las 3 réplicas que adquirieron la distintiva tonalidad azul debida al reactivo de Folin-Ciocalteu después de las 2 horas de reposo.

Luego, se realizará la calibración del espectrofotómetro proporcionado por la Universidad de América ajustándolo a una longitud de onda de 760 nm, la cual es el estándar para la lectura de absorbancias en el espectro visible [46], [47].

Teniendo el equipo calibrado se procedió a tomar la lectura de cada una de las concentraciones de ácido gálico y las réplicas demarcadas como m1, m2 y m3 y los resultados se registraron en la siguiente tabla:

**Tabla 11.**

*Datos obtenidos del espectrofotómetro*

<b>Conc. Ácido gálico ppm</b>	<b>Absorbancia</b>
1	0,005
2	0,013
4	0,026
6	0,04
8	0,051
10	0,063
<b>m1</b>	<b>0,059</b>
<b>m2</b>	<b>0,058</b>
<b>m3</b>	<b>0,058</b>

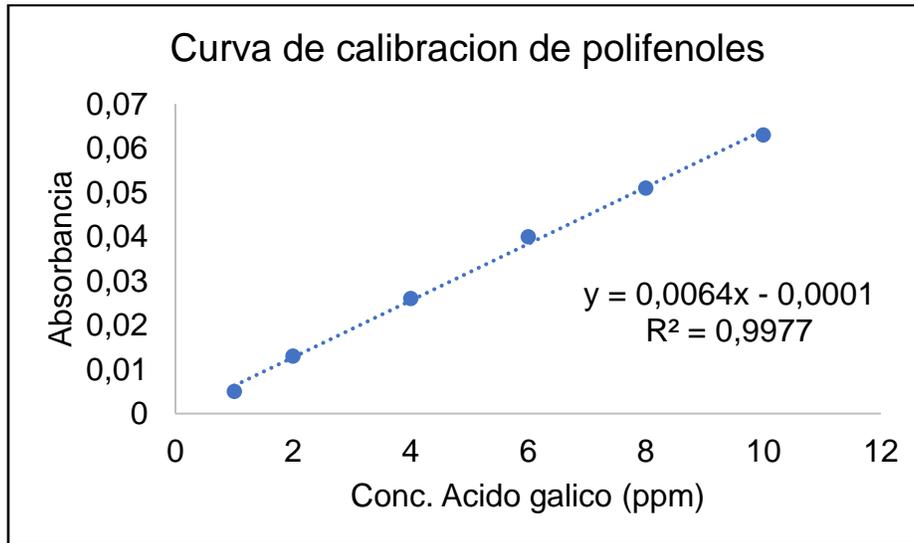
**Nota.** La tabla muestra los datos recopilados a partir de la lectura de la absorbancia de las muestras en el espectrofotómetro, utilizando la primera muestra con polifenoles para la construcción del gráfico.

A partir de los datos obtenidos en la tabla 12 se procede a generar una curva de calibración constituida por los distintos puntos (concentraciones de ácido gálico y compuesto inhibidor) sobre los cuales se aplicará dispersión de datos para poder obtener una recta.

El eje X de la curva estará representado por la concentración de ácido gálico en partes por millón (ppm) y el eje Y será un rango de absorbancia corta (0 a 0,07) para poder visualizar mejor los resultados.

**Figura 41.**

*Curva de calibración de polifenoles*



**Nota.** El gráfico muestra la recta que relaciona la absorbancia con la concentración de ácido gálico, a partir de la misma se puede realizar la cuantificación de polifenoles.

Teniendo la curva generada satisfactoriamente se extrae la ecuación de la recta y el  $R^2$ . Para poder hacer la determinación de fenoles totales (véase apartado de resultados), tener en cuenta que solo se utilizó una de las réplicas con compuesto inhibidor ya que los resultados eran similares.

Para cuantificar los polifenoles totales se toma como referencia el procedimiento descrito en [47] y se despeja  $x$  de la ecuación de la recta, tomando la primera replica (0,059) como el valor de "Y", El valor anterior corresponde a la concentración final de polifenoles encontrada en la prueba, el análisis se encuentra en el apartado ANALISIS Y DISCUSIONES.

## 2.6. Formulación de la pintura

Para la formulación de la pintura se tuvo en cuenta la proporción básica para la elaboración de un recubrimiento en base aceite, siguiendo los lineamientos comprendidos por el manual de la industria química (en inglés Handbook of industrial Chemistry: Organic Chemicals) la cual se muestra en la tabla 13.

**Tabla 12.**

*Tabla de una formulación general de una pintura base aceite*

<b>Compuesto</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Volumen (l)</b>	<b>Proporción en masa (<math>W_i</math>)</b>	<b>Proporción en volumen (<math>V_i</math>)</b>
Disolvente	93.1	116.5	0.08	0.12
Resina	695	724.7	0.58	0.72
Pigmento	350	86	0.29	0.09
Aditivos	66.5	72.8	0.06	0.07
<b>Total</b>	<b>1204.6</b>	<b>1000</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

**Nota.** Formulación general de una pintura. Tomado de: M. F. Ali, "7. Paints, Pigments, and Industrial Coatings," 2002.

Siguiendo esta idea de una relación resina/pigmento 2:1 la formulación empleada para la pintura del proyecto se observa en la siguiente tabla:

**Tabla 13.**

*Tabla de la formulación de la pintura.*

<b>Compuesto</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Proporción en masa (Wi)</b>
Resina	190	0.515
Pigmento	95	0.258
Solvente	35	0.095
Secante	15	0.41
Viscosificante	15	0.41
Dispersante	1	0.003
Inhibidor	8	0.021
Carbonato de calcio	10	0.027
<b>Total</b>	<b>369</b>	<b>1</b>

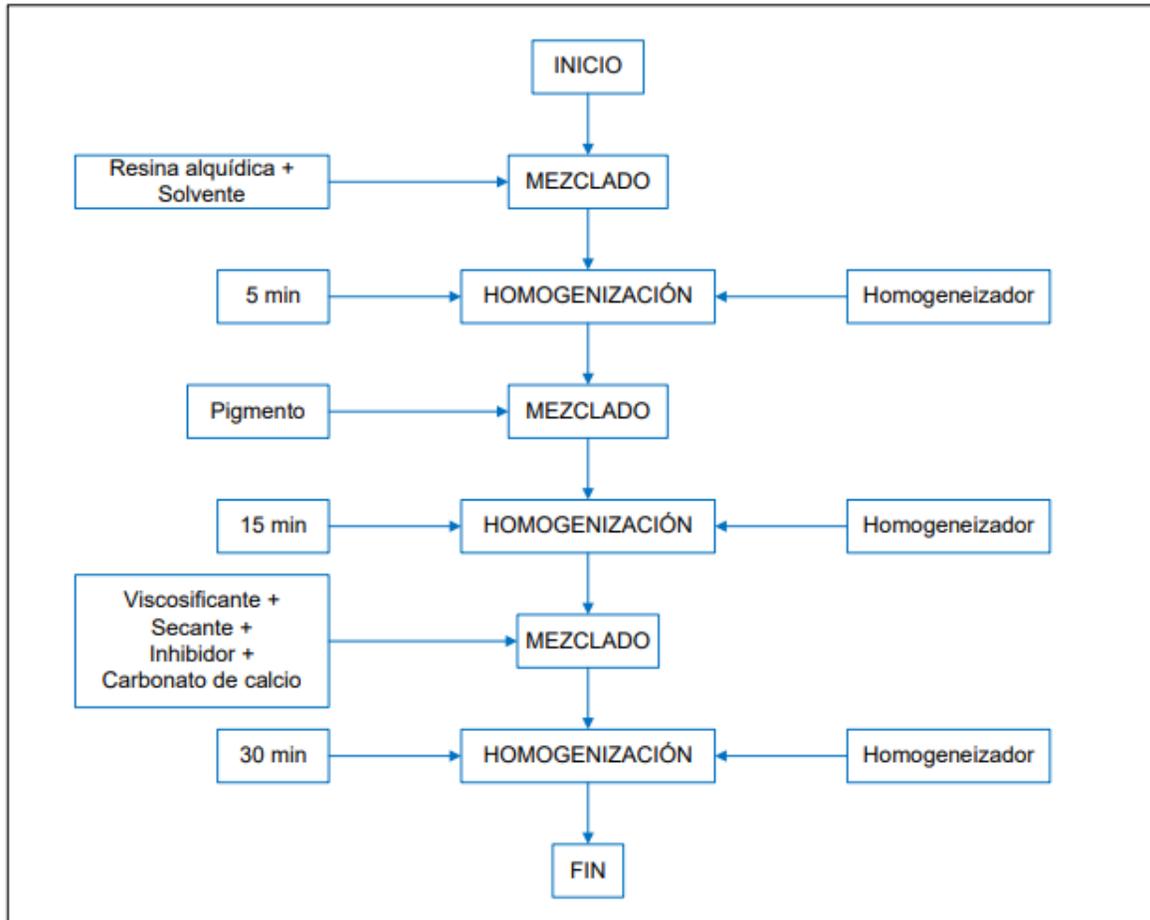
**Nota.** Formulación de la pintura a base de polifenoles de material orgánico.

Para la elaboración de la pintura se hizo uso de un dispositivo un homogeneizador, en el cual se me disolvió primero la resina alquídica con el solvente (Varsol, véase sección de recomendaciones), a posteriori, se agregó el dispersante y se mezcló durante 5 minutos, luego se agregó el pigmento y se mezcló durante 15 minutos. Seguidamente se agregaron el viscosificante, el secante y el compuesto inhibidor.

Estos compuestos se mezclaron por 30 minutos y por último se agregó el carbonato de calcio y se mezcló por 10 minutos más.

**Figura 42.**

*Diagrama de flujo del proceso de síntesis de la pintura*



**Nota.** La figura muestra los procesos requeridos para la adecuada formulación de la pintura.

**Figura 43.**

*Aspecto y proceso de homogenización de pintura.*



**Nota.** La figura muestra el aspecto de la pintura en el proceso de homogenización.

## **2.7. Ensayo de corrosión acelerada por cámara de niebla salina**

La prueba de corrosión mediante la cámara de niebla salina (véase figura 18) consiste en la medición de la resistencia de materiales metálicos o el rendimiento y efectividad de recubrimientos y pinturas aplicados a metales frente a un ambiente de humedad, temperatura y salinidad constante [49].

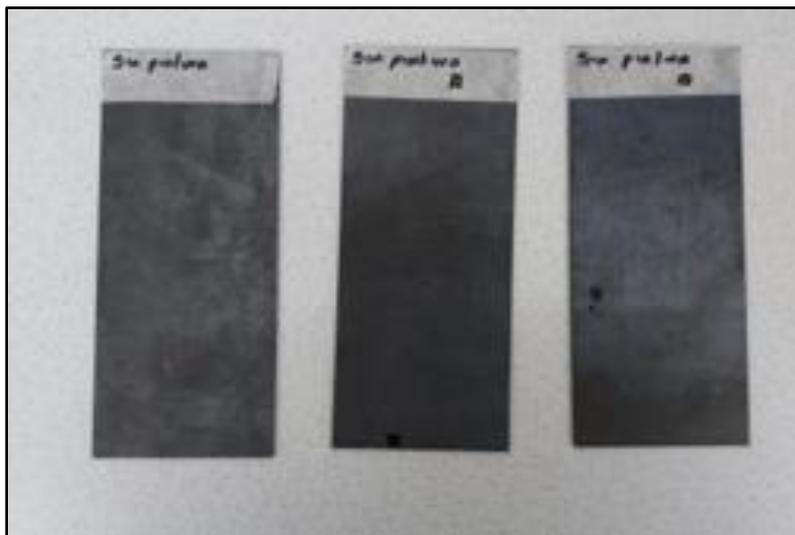
Estas cámaras simulan condiciones parecidas a las de niebla salina marina, contaminación urbana o industrial, desgaste en tiempos cortos, etc. con la finalidad de determinar la vida útil de revestimientos en metales (véase anexo 2) [49].

Este ensayo se efectuó en las instalaciones de la Universidad Nacional de Colombia, en el equipo Atlas SF corrosion exposure System.



**Figura 45.**

*Lamina de acero al carbon sin ningún recubrimiento.*



**Nota.** La figura muestra 3 láminas de acero al carbon limpias antes de la aplicación de pinturas.

**Tabla 14.**

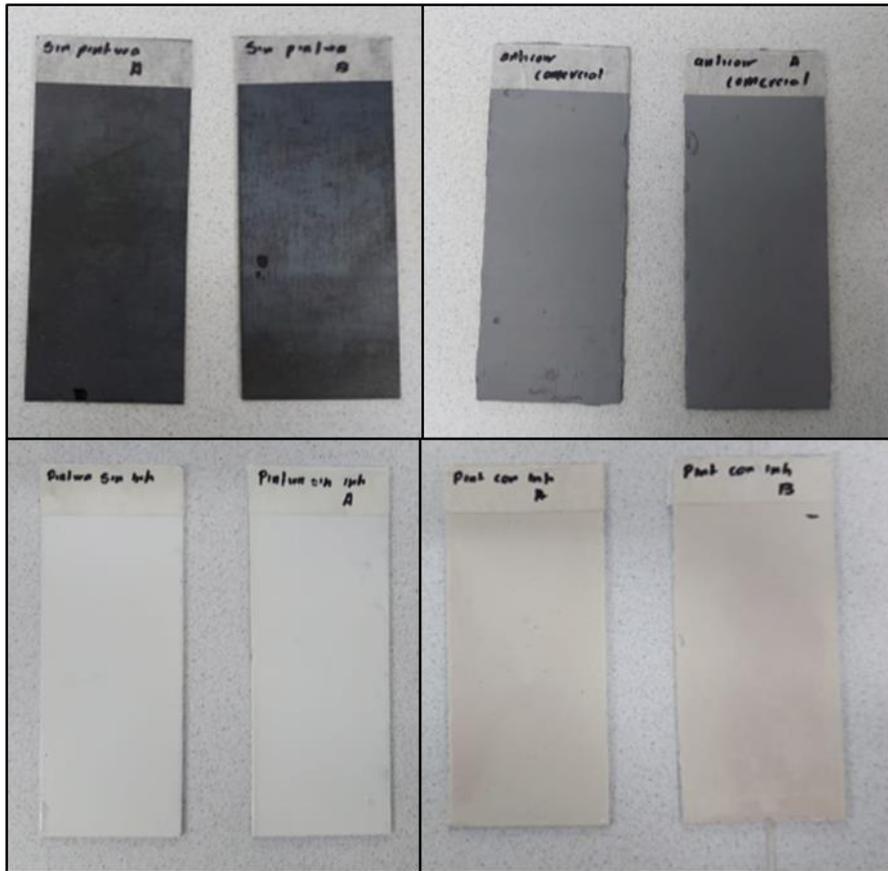
*Recubrimientos utilizados*

<b>Recubrimientos</b>	<b>Numero de laminas</b>
Sin recubrimiento	2
Anticorrosivo comercial	2
Pintura sin compuesto orgánico	2
Pintura con compuesto orgánico	2

**Nota.** La tabla muestra las pinturas que se analizaran en la prueba y el número de láminas a las cuales se aplicaran cada una.

**Figura 46.**

*Laminas con el recubrimiento*



**Nota.** La figura muestra las 8 láminas que ingresaran a la cámara salina después de haber aplicado los recubrimientos.

Estas laminas se pesarán en una balanza analítica antes del ensayo, los pesos se enmarcan en la siguiente tabla:

**Tabla 15.**

*Peso de las láminas previo al ensayo*

<b>Peso de las láminas antes del ensayo</b>	
<b>Recubrimiento</b>	<b>Peso (g)</b>
Sin recubrimiento	A: 91,9960 B: 91,6035
Anticorrosivo comercial	A: 96,2133 B: 95,5173
Pintura sin compuesto orgánico	A: 93,7255 B: 94,4819
Pintura con compuesto orgánico	A: 94,4114 B: 94,6390

**Nota.** La tabla muestra los pesos de las láminas con los recubrimientos con el fin de poder determinar las velocidades de corrosión conociéndola pérdida de masa.

Luego, ingresaran el en equipo Atlas SF corrosión exposure System ubicado en el departamento de ingeniería química de la Universidad Nacional a una temperatura constante de 35 °C, el cual rociara una concentración de cloruro de sodio al 5% por un periodo de 100 horas (para conocer las imágenes del avance de la corrosión sobre cada lamina véase anexo 2).

Hay que tener en cuenta que estos ensayos de corrosión acelerada están sujetos a la norma técnica colombiana NTC 1156 (ver anexo 1) basada en la norma ASTM B -117 para ensayos de deterioro en materiales [22].

## **2.8. Prueba de adherencia**

La prueba consiste en la realización de incisiones en la superficie de las láminas se en forma de rejilla mediante equipos como el rallador de cuadrícula Elcometer Serie 94858.

Estas incisiones espaciadas uniformemente (8-10 mm) en horizontal y en vertical designan un patrón de rejilla en la superficie de la zona de prueba, en este punto se aplicará cinta adhesiva sensible para cubrirla superficie y se retirará enérgicamente.

Los resultados se informan en el apartado de análisis de resultados y discusiones, para más claridad con respecto a la metodología de las pruebas de adherencia véase el anexo 1 y la norma ASTM D3359 [50].

### **3. DISEÑO DE PRODUCCIÓN DEL INHIBIDOR DE CORROSIÓN**

Luego de establecer que la almendra del mango cuenta con polifenoles que serán el aditivo anticorrosivo en este caso, y realizar las pruebas concernientes a la resistencia de la pintura elaborada en las instalaciones de la Universidad Nacional, se propondrán los equipos que se pueden utilizar en pequeña escala para la elaboración del producto y su correspondiente diseño.

Para ello, se establecerá la descripción del proceso productivo en primer lugar:

#### **3.1. Descripción del proceso de producción del aditivo anticorrosivo**

Se recolectan semillas de mango procedentes de la industria agrícola/alimenticia de Bogotá (en plazas de mercado, restaurantes, pastelerías, etc.) con el fin de retirar la almendra del mango que está en el interior de las mismas, posteriormente se realiza un proceso de limpieza (lavado) para retirar impurezas; un secado a temperatura ambiente por 48 horas aproximadamente.

Estas semillas pasaran por un proceso de trituración para disminuir el tamaño de partícula; la semilla triturada ingresara a un horno a una temperatura de 50 °C, controlando los cambios con un rango aceptable de 45 a 55°C por 24 horas aproximadamente, esto se hace debido a que la humedad contenida en el material afectara el proceso de extracción de los polifenoles (aditivo antioxidante).

La semilla triturada y seca ingresará a un extractor solido – liquido de aceites, en el cual ingresa también una corriente de etanol al 96%, allí se realizará la extracción del compuesto de interés a una temperatura de 80°C (se establece una temperatura mayor a la de ebullición del solvente debido a que no se están tomando en cuenta condiciones ideales en la extracción de los polifenoles).

Luego, el producto de la extracción se secara en un horno a una temperatura de 55 °C por 4 días aproximadamente, este extracto seco ingresara en un tanque junto con una corriente compuesta de resina (13,5 kg/semana), dióxido de titanio (257,54 kg/semana), trementina (128,72 kg/semana), secante trimetalico (47,42 kg/semana), bentonita

(20,325 kg/semana) y dispersante (20,325 kg/semana) en esas proporciones, teniendo como resultado una corriente final de pintura de 500 kg/semana con compuesto inhibidor.

**Tabla 16.**

*Condiciones de operación*

<b>Proceso u operación unitaria</b>	<b>Condición</b>
Recolección	T: ambiente
Quebrantado	T: ambiente
Lavado	T: 25 °C
Secado 1	T: ambiente t: 48h
Secado 2	T: 50 °C t: 10 – 11h
Secado 3	T: 50 °C t: 10 – 11h
Trituración	T: ambiente
Extracción	T: 80 °C
Filtrado	T: ambiente
Mezclado	T: ambiente

**Nota.** La tabla muestra las condiciones de operación del proceso teniendo en cuenta que no hay cambios de presión (pues no son necesarios, es decir, se está trabajando con presión atmosférica).

nota

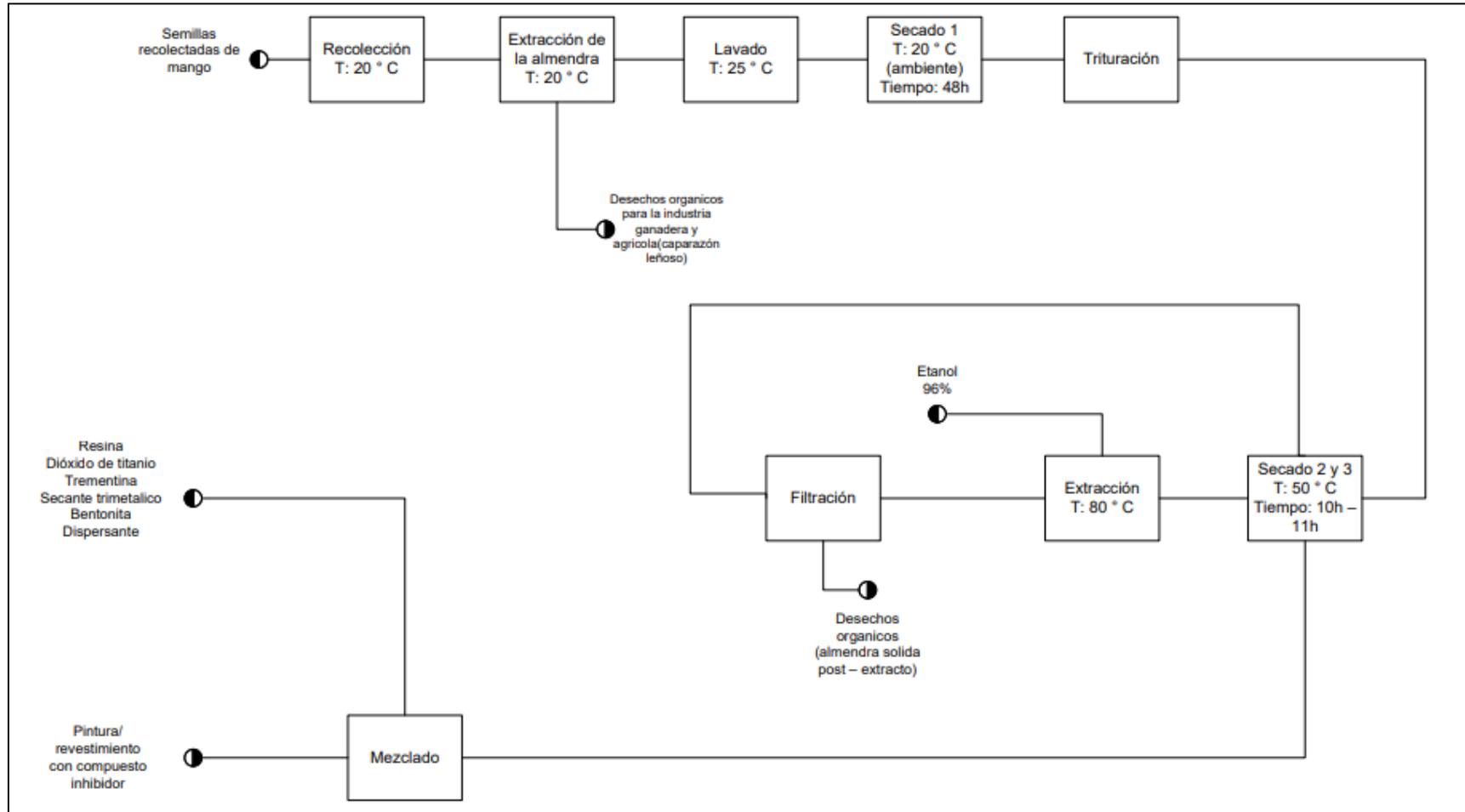
El resumen de condiciones de operación mostrado anteriormente esta sujeto a los resultados que se obtuvieron para la síntesis del revestimiento/pintura en el laboratorio, estas mismas condiciones se utilizaran para la esquematización de los diagramas de proceso a escala piloto.

### **3.2. Esquematización del proceso**

Para la realización del proceso se han designado diagramas que explican la ruta a seguir escalando los resultados de laboratorio, junto con los equipos que se pueden utilizar para dar sentido a la fase piloto como se muestra a continuación:

**Figura 47.**

Diagrama BFD producción de la pintura anticorrosiva.



**Nota.** La figura muestra el diagrama de proceso en bloques (BFD) para la producción de la pintura, en él se enmarcan los procesos principales que se deben realizar y las condiciones para la obtención del aditivo de forma correcta. **(Ver anexo 3)**

A partir de la realización del diagrama de bloques para la producción del anticorrosivo, se pueden establecer, a criterio ingenieril, los equipos en una escala inicial de proceso que cumplen con los requisitos del proyecto (se establecerá una meta de producción de 500 kg/semana inicialmente).

**Figura 48.**

*Equipos que pueden efectuar el proceso*

<b>Equipo</b>	<b>Imagen</b>	<b>Descripción del equipo</b>
<p><b>Silo de almacenamiento</b></p>	<p><b>Figura 49.</b> <i>Silo</i></p>  <p><b>Nota.</b> La figura muestra un silo de almacenamiento. Tomado de:   “Silos - Consideraciones Generales,” <i>INESA TECH.</i> [Online]. Available: <a href="https://www.inesa-tech.com/blog/silos-consideraciones-generales">https://www.inesa-tech.com/blog/silos-consideraciones-generales</a></p>	<p>Estructura generalmente metálica con forma cilíndrica y fondo cónico, seco que tiene la función de almacenar materias primas recolectadas para algún proceso en particular [51].</p>

<p><b>Quebrantadora/ descascaradora</b></p>	<p><b>Figura 50.</b> <i>Descascaradora</i></p>  <p><b>Nota.</b> La figura muestra un equipo común de remoción de cascara. Tomado de: “Descascarador de Cacao / Clasificador de Nibs,” <i>Vulcanotec</i>, 14-Aug-2022. [Online]. Available: <a href="https://vulcanotec.com/mquinaria/descascaradora-de-cacao-clasificador-de-nibs/">https://vulcanotec.com/mquinaria/descascaradora-de-cacao-clasificador-de-nibs/</a></p>	<p>Dispositivo o maquina utilizada en la industria con el fin de fracturar distintos tipos de semillas buscando separar o quebrar caparazones leñosos de pulpas o material orgánico de interés [52]</p>
<p><b>Lavadora de frutas</b></p>	<p><b>Figura 51.</b> <i>Lavadora de frutas</i></p>  <p><b>Nota.</b> La figura muestra un equipo industrial de limpieza de alimentos. Tomado de: “Lavadora de Frutas CI Talsa LIA1” C/ <i>TALSA</i>. [Online]. Available: <a href="https://www.citala.com/products/lavadora-de-frutas-ci-talsa-lia1">https://www.citala.com/products/lavadora-de-frutas-ci-talsa-lia1</a></p>	<p>Equipo diseñado para la limpieza y desinfección de alimentos o material orgánico particular, construida en acero inoxidable. Algunas utilizan sistemas de inmersión con turbulencia interior y dispositivos de aspersión para lavado superficial [53].</p>

<p><b>Horno deshidratador</b></p>	<p><b>Figura 52.</b> <i>Deshidratador de alimentos</i></p>  <p><b>Nota.</b> La figura muestra un equipo de secado de material sólido. Tomado de: "Industrial Hot Air Tray Dryer," <i>Industrial Hot Air Tray Dryer - Buy Tray Dryer, Industrial Tray Dryer, Hot Air Dryer Product on Alibaba.com.</i> [Online]. Available: <a href="https://www.alibaba.com/product-detail/industrial-hot-air-tray-dryer_60429893034.html">https://www.alibaba.com/product-detail/industrial-hot-air-tray-dryer_60429893034.html</a></p>	<p>Equipo computarizado que efectúa proceso de remoción de humedad mediante el control de la velocidad y la temperatura de las corrientes de aire en su interior, teniendo en cuenta los procesos de transferencia de masa y de calor [54].</p>
<p><b>Trituradora de alimentos</b></p>	<p><b>Figura 53.</b> <i>Triturador de alimentos</i></p>  <p><b>Nota.</b> La figura muestra un equipo de trituración de alimentos. Tomado de: "Molino Triturador Eléctrico Ocasional JTRF400 De 2 Hp," <i>Homecenter.com.co.</i> [Online]. Available: <a href="https://www.homecenter.com.co/homecenter-product/101367/molino-triturador-forrajero-jtrf400/101367/?kid=goosho_1161562&amp;shop=googleShopping&amp;gclid=Cj0KCQiAsoycBhC6ARIsAPPbeLt7Ez6S0A7pMxhl78FNlxnqtAZCDUh6haEhqwftlUk1NcUXCtL6waAhDGEALw_wcB">https://www.homecenter.com.co/homecenter-product/101367/molino-triturador-forrajero-jtrf400/101367/?kid=goosho_1161562&amp;shop=googleShopping&amp;gclid=Cj0KCQiAsoycBhC6ARIsAPPbeLt7Ez6S0A7pMxhl78FNlxnqtAZCDUh6haEhqwftlUk1NcUXCtL6waAhDGEALw_wcB</a></p>	<p>Equipo designado para la disminución del tamaño de partícula de alimentos y compuestos orgánicos, compuesto de una entrada de tamaño grande por la cual ingresa el material orgánico y pasa por un sistema de cuchillas que se encargan de cortar y triturar el sustrato [55].</p>

<p><b>Filtro</b></p>	<p><b>Figura 54.</b> <i>Filtro</i></p>  <p><b>Nota.</b> La figura muestra un equipo de remoción de partículas no deseadas en sistemas solido-liquido. Tomado de: G. C., M. S., and K. A., "Filtro Multimédios industrial con Tanque de Acero Serie MF-1000," <i>Pure Aqua Inc.</i> [Online]. Available: <a href="https://es.pureaqua.com/filtro-de-medios-industrial-con-tanque-de-acero/">https://es.pureaqua.com/filtro-de-medios-industrial-con-tanque-de-acero/</a></p>	<p>Sistema que se encarga de la eliminación de elementos no deseados de sistemas liquido – solido mediante varias etapas con el fin de obtener extractos más limpios [56].</p>
<p><b>Separador solido – liquido</b></p>	<p><b>Figura 55.</b> <i>Extractor solido- liquido</i></p>  <p><b>Nota.</b> La figura muestra un proceso de extracción solido-liquido a escala piloto. Tomado de: "Extracción solido-liquido," <i>De Dietrich Process Systems.</i> [Online]. Available: <a href="https://www.dedietrich.com/es/soluciones-y-productos/extraccion/extraccion-solido/liquido">https://www.dedietrich.com/es/soluciones-y-productos/extraccion/extraccion-solido/liquido</a></p>	<p>Equipo designado para la extracción de compuestos de interés que consta de 3 partes: un dispositivo generador de calor que se encargará de transferir energía, un recipiente dotado de un dispositivo de retención de material solido que será el encargado de extraer el compuesto y un condensador para controlar la temperatura del proceso.</p>

<p><b>Tanque mezclador</b></p>	<p><b>Figura 56.</b> <i>Tanque mezclador</i></p>  <p><b>Nota.</b> La figura muestra un dispositivo común de mezclado. Tomado de: "Tanque Mezclador," Sagafluid, 15-Sep-2020. [Online]. Available: <a href="https://sagafluid.com/equipos/tanque-mezclador/">https://sagafluid.com/equipos/tanque-mezclador/</a></p>	<p>Dispositivo que se encarga de realizar la homogenización de diferentes compuestos y sustancias con el fin de generar un producto.</p>
--------------------------------	--	--

**Nota.** La figura muestra la descripción de los equipos seleccionados para la realización del proyecto a una mayor escala.

### 3.3. Implementación de los 12 principios de la química verde

#### **1. Es preferible evitar la formación de residuos a tener que realizar su tratamiento cuando ya se han formado.**

Los desechos orgánicos que no tengan aprovechamiento (caparazones leñosos, cáscaras, etc.) se pueden utilizar como alimento o compostas en el sector agrícola.

#### **2. Los diseños de síntesis deben permitir la máxima incorporación en el producto final de los materiales a usar en el proceso.**

El producto final se está realizando con material orgánico residual, supliendo la necesidad de aprovechamiento atómico mediante el uso de materia prima a la cual no se le daba propósito.

#### **3. Diseñar los métodos sintéticos usando o generando sustancias que tengan baja o ninguna toxicidad para la salud humana o el medio ambiente.**

Ninguno de los compuestos implementados en la realización de la película inhibidora presenta peligrasidad o toxicidad para el ser humano.

#### **4. Los nuevos compuestos químicos deben preservar su eficacia y reducir su toxicidad**

El compuesto resultante no es tóxico ni nocivo.

**5. El uso de sustancias auxiliares (solventes, absorbentes, etc.) debe ser mínimo e inocuo**

Los métodos de extracción de compuestos fenólicos implican el uso de solventes por la naturaleza de los mismos. Se podrían variar los métodos de concentración de los compuestos fenólicos utilizando solventes más económicos o procesos alternos como fermentación.

**6. Los requerimientos energéticos deben considerarse por su impacto económico y en el ambiente, y deben minimizarse. Privilegiar métodos a temperatura y presión ambiente.**

Reducción de un equipo (cambio de horno secador de bandejas convencional por horno deshidratador) para reducir tiempos y consumo energético.

**7. Siempre que sea posible, la materia prima debe venir de fuentes renovables.**

La materia prima de trabajo es residual.

**8. Evitar derivatizaciones innecesarias (bloqueo de grupos, protección/desprotección, etc.)**

No hay productos derivados (no existen reacciones químicas).

**9. Preferir reactivos catalíticos.**

No existen reacciones químicas.

**10. Diseñar productos que se degraden.**

Los polifenoles se degradan con el paso del tiempo por su naturaleza orgánica.

**11. Desarrollo de metodologías analíticas con el fin de monitorear sustancias contaminantes o peligrosas.**

Se pueden hacer uso de softwares como WAR GUI para análisis de desechos y contaminantes, en el caso del presente proyecto no hay agentes tóxicos resultantes.

**12. Las sustancias deben elegirse a modo de minimizar su potencial riesgo de accidente.**

El uso de etanol como solvente de forma inocua podría presentar riesgo de carburación.



Luego de la esquematización del proceso se procede a hacer el balance de masa fijando la meta de producción, conociendo previamente el resultado de los ensayos efectuados en la universidad de América y teniendo en cuenta la metodología aplicada en “Escalamiento, el arte de la ingeniería química: Plantas piloto, el paso entre el huevo y la gallina” [57].

**Tabla 17.**

*Balance de masa aplicado al diagrama PFD*

Balance de masa en flujo masico														
Componente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Semilla	25,093	25,093	17,565		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Almendra	0	0	0	7,528	7,528	7,528	7,528	0	7,528	6,173	0	0	0	0
Etanol	0	0	0	0	0	0	0	59,400	59,400	0	59,400	0	0	0
Resina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13,550	13,550
Dióxido de titanio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	257,453	257,453
Trementina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	128,726	128,726
Secante trimetalico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47,425	47,425
Bentonita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20,325	20,325
Dispersante	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20,325	20,325
Extracto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,355	1,355	0	1,355
Carbonato de calcio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,840	10,840
<b>TOTAL</b>	25,093	25,093	17,565	7,528	7,528	7,528	7,528	59,400	66,928	6,173	60,755	1,355	498,645	500

**Nota.** La tabla muestra el balance de masa final para obtener 500 kg/semana de pintura.

### 3.4. Análisis financiero de la producción de la pintura

Para realizar el balance de costos de producción de la pintura/revestimiento, se tuvo en cuenta el balance de masa del diagrama PFD (tabla 13) con el fin de entender los costos de la meta de producción (500kg/semana).

Además, se establecieron costos directos de producción teniendo en cuenta el montaje de una planta piloto (costos de equipos).

Los precios de los reactivos y de los equipos fueron tomados por cotización en empresas como CI Talsa, Ingeniería Metalmeccánica Alimenticia S.A.S., Exhibir equipos industriales, E.R.C.A. S.A.S y páginas de internet como alibaba y Made in china.

**Tabla 18.**

*Costos de reactivos*

<b>Reactivo</b>	<b>Masa requerida</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio por kg (COP)</b>	<b>Precio total</b>
Etanol	60	KG	\$ 9.500	\$ 570.000
Resina	14	KG	\$ 6.000	\$ 84.000
Dióxido de titanio	260	KG	\$ 32.272	\$ 8.390.720
Trementina	130	KG	\$ 43.600	\$ 5.668.000
Secante trimetalico	50	KG	\$ 70.000	\$ 3.500.000
Bentonita	21	KG	\$ 10.000	\$ 210.000
Dispersante	21	KG	\$ 70.000	\$ 1.470.000
Carbonato de calcio	11	KG	\$ 15.000	\$ 165.000

**Nota.** La tabla muestra los costos asociados a los insumos necesarios para la fabricación de la pintura escalados a una fase piloto.

**Total, de la inversión en insumos:** \$20.057.720 (para producir 500 kg de pintura, no se está tomando precio de la semilla ni del extracto debido a que al ser un sustrato derivado de material orgánico residual no genera ningún costo directo en la producción).

**Tabla 19.**

*Costos de equipos*

<b>Equipo</b>	<b>Precio (COP)</b>	<b>Año</b>	<b>Precio actualizado (2023)</b>
Silo de almacenamiento	\$ 3.950.000	2023	\$ 3.950.000
Quebrantadora/ descascaradora	\$ 12.300.000	2023	\$ 12.300.000
Lavadora de frutas	\$ 21.000.000	2023	\$ 21.000.000
Horno deshidratador de alimentos	\$ 11.918.000	2022	\$ 12.036.090
Trituradora de alimentos	\$ 7.300.000	2021	\$ 17.210.854
Filtro prensa	\$ 4.950.000	2022	\$ 4.999.047
Extractor solido -liquido	\$ 29.550.000	2022	\$ 29.842.797
Tanque mezclador	\$ 9.500.000	2022	\$ 9.594.131
<b>Total de inversión en equipos</b>	<b>\$ 100.468.000</b>	<b>2023</b>	<b>\$ 110.932.920</b>

**Nota.** La tabla muestra los costos asociados a los equipos seleccionados para la fabricación de la pintura en fase piloto.

Los costos de los equipos sobre los cuales no se realizó cotización formal se escalaron a precios consecuentes con el presente año 2023 utilizando la ecuación mostrada en el capítulo 6 del libro de ingeniería química de Gavin Towler y con el IPC proporcionado para los correspondientes años 2021, 2022 y 2023 por el banco nacional de la república.

**Ecuación 7.**

Escalamiento de costos

$$\text{Cost in year A} = \text{Cost in year B} \times \frac{\text{Cost index in year A}}{\text{Cost index in year B}}$$

Los IPC (índices de precios al consumidor) correspondientes son:

**Tabla 20.**

*Índices de precios al consumidor*

<b>IPCs</b>	
<b>2021</b>	5,62%
<b>2022</b>	13,12%
<b>ene-23</b>	13,25%

**Nota.** La tabla muestra los índices de precios al consumidor para los años requeridos en el escalamiento de los costos.

**Tabla 21.**

*Costos indirectos de producción*

<b>Costos indirectos de producción</b>	
Operarios (3, 1 por cada zona)	\$ 3.900.000
Ingenieros (1)	\$ 2.300.000
Transporte	\$ 1.300.000
Instalación de equipos	\$ 5.000.000
Servicios	\$ 5.000.000
Arriendo	\$ 8.000.000
Reparaciones y Mantenimiento de equipos	\$ 4.500.000
Materiales indirectos	\$ 10.000.000
Administración	\$ 12.000.000
Seguridad	\$ 1.500.000
Aseo	\$ 2.600.000
<b>Total</b>	<b>\$ 56.100.000</b>

**Nota.** La tabla muestra los costos operativos de producción y algunos costos variables implicados en la fabricación del compuesto.

Tener en cuenta que algunos ítems contemplados en los costos indirectos serán de un único pago, como lo son la instalación de equipos y los materiales indirectos, el resto de ítems implican un gasto mensual que incluye el salario mínimo mensual legal vigente para Colombia en el caso de operarios y salarios ajustados a la profesión adecuada al proyecto.

**Total de inversión inicial para el primer mes de producción: \$187.090.640** contemplando los costos de reactivos, equipos y los costos operativos antes mencionados.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. Extracción de polifenoles mediante el método Soxhlet

Los resultados de la extracción se evidencian en la obtención de los 3 extractos de polifenoles, además con esto se realizó el balance de masa para especificar la cantidad extracto obtenido y el diseño del proceso.

Para ello, se pesaron 3 beakers primero secos y luego con los extractos.

**Figura 58.**

*Peso de los beakers vacíos.*



**Nota.** La figura muestra el peso de los beakers vacíos en balanza analítica.

**Figura 59.**

*Toma de masa de los beakers con el extracto*



**Nota.** La figura muestra el peso de los beakers con el extracto seco en balanza analítica.

**Tabla 22.**

*Datos necesarios para la determinación másica de extracto obtenido.*

# de beaker	Masa del beaker	Masa beaker con extracto	Masa del extracto	Masa de materia prima
Unidad	(g)	(g)	(g)	(g)
1	104,31	106,06	1,75	15
2	120,87	123,93	3,06	15
3	100,28	103,39	3,11	15

**Nota.** La tabla muestra los datos necesarios para el cálculo de la cantidad de extracto obtenido.

Según la tabla 16 se observa que el promedio de obtención es de 2,7 gramos de extracto de polifenoles por cada 15 gramos, es decir que se consigue un 18% de la masa total, cabe destacar que esta cantidad puede variar según el número de ciclos en los que se desarrolle la extracción, debido a que entre más ciclos se realicen, más concentrado se producirá el extracto final; sin embargo, esto aumenta el tiempo de la extracción.

## 4.2. Determinación de polifenoles totales

Tomando en cuenta el procedimiento descrito en el capítulo 2 para la determinación de la curva de polifenoles [47], se realiza el siguiente procedimiento:

### Ecuación 8.

Cuantificación de polifenoles totales

$$Y = mx + b$$

$$0,059 = 0,0064x - 0,0001$$

$$x = \frac{0,059 + 0,0001}{0,0064}$$

$$x = 9,2343 \text{ mg/L}$$

9,2343 mg/L es el valor final de la concentración de polifenoles de la almendra del mango bajo las condiciones del ensayo de Folin – Ciocalteu para la presente investigación, que, comparado con el valor reportado en la bibliografía del estudio “Evaluación del efecto antioxidante del extracto polifenólico de la almendra del mango (*Mangifera indica* L.) var. Magdalena River” [15], que es de 19,26 mg/L, es considerablemente menor, pero no significa que no cumpla con las propiedades antioxidantes requeridas para la realización de la pintura (en este mismo estudio se comparan investigaciones realizadas al sustrato con concentraciones de hasta 8 mg/L).

Los resultados expresados cambian debido a factores como las cantidades de reactivos utilizados en el ensayo de determinación de polifenoles para la generación de la curva, como también la concentración final del extracto derivada del proceso soxhlet.

La efectividad de la concentración final se verá reflejada en la determinación de las velocidades de corrosión posteriores a la aplicación de la pintura.

### 4.3. Formulación de pintura

**Figura 60.**

*Homogeneización de la pintura*



**Nota.** La figura muestra el proceso de homogeneización de la pintura.

Los datos de la pintura que se obtuvieron, se pueden observar en la siguiente tabla:

**Tabla 23.**

*Propiedades de la pintura observadas.*

<b>Propiedades visuales</b>	<b>Especificación</b>
Color	Blanco
Viscosidad	Baja
Apariencia	Demasiado liquida
Textura	Fina
Adherencia	Baja
Tiempo de secado	Alto

**Nota.** La tabla muestra las propiedades observadas en el momento de su elaboración.

#### **4.4. Prueba de corrosión en cámara de niebla salina.**

Para los resultados de las pruebas relacionadas con la resistencia al fenómeno de la corrosión, se realizará un análisis en tres partes: El primero es un análisis visual, referente a la salida de las láminas de la cámara, el segundo es el análisis de los efectos de temperatura y tiempo durante el ensayo y el tercero es el cálculo de la velocidad de corrosión en las láminas de esta prueba.

##### **4.4.1. Análisis de las laminas**

A continuación, se muestran los resultados de la prueba de cámara salina después de 100 horas de exposición (véase completo el anexo 2 “Informe Pruebas de cámara salina y ensayo de adherencia”).

**Figura 61.**

*Laminas después de ser sometidas al ambiente corrosivo*



**Nota.** La figura muestra las láminas después de haber transcurrido las 100 horas del proceso de sometimiento a ambientes corrosivos en la cámara de niebla salina. **(Véase anexo 2, información suministrada por la Universidad Nacional de Colombia).**

Al ver las láminas después de la prueba de resistencia a la corrosión, con facilidad se puede observar el deterioro de las que no tienen recubrimiento por la capa de óxido que se forma en torno a ellas y dentro de la clasificación de los tipos de corrosión se puede aseverar que sufren de corrosión generalizada o uniforme, con rasgos de corrosión por picadura.

Las demás laminas presentan corrosión localizada (ataca más en los bordes). Por razones coherentes, visualmente la lámina con anticorrosivo comercial presenta menor daño que las otras, las láminas con pintura sin compuesto no muestran un desgaste agresivo y las que tienen el compuesto, presentan un oscurecimiento de la capa

protectora (lo cual puede indicar que el recubrimiento está actuando como una capa de pasivación).

#### **4.4.2. Efecto directo de la temperatura y el tiempo durante el ensayo**

Como se mencionó en el apartado de metodología para el ensayo de la cámara de niebla salina, el equipo trabaja obedeciendo la norma NTC 1156 (ver anexo 1) adaptada de la norma ASTM B -117 para ensayos de deterioro en materiales [22].

La norma establece 35 °C como temperatura requerida y una concentración de cloruro de sodio al 5% por un periodo de 100 horas mínimas para evidenciar daños en los materiales de trabajo [58].

La temperatura directamente incide en que tan rápido se va a deteriorar el material debido al fenómeno de corrosión, un aumento gradual de temperaturas en rangos de 10 °C, por literatura, duplicará la velocidad de corrosión del material, Esto quiere decir que a temperaturas menores a la estándar (35°C) no se verá tan afectado el metal. La temperatura influye directamente también en el funcionamiento de la cámara salina debido a la naturaleza de sus componentes, presentando así fallos como fugas, obstrucciones, corrosión interna, entre otros [58], [59].

El tiempo de exposición es una medida promedio que determina el rango mínimo en el cual se podrán evidenciar resultados concretos para los materiales que se van a analizar; entre más tiempo se expongan los materiales al ensayo, más afectados se verán los mismos [59].

Así pues, se puede decir, que la temperatura y el tiempo son directamente proporcionales al deterioro resultante.

#### 4.4.3. Cálculo de las velocidades de corrosión

Para el cálculo de las velocidades de corrosión se utilizaron los resultados de la prueba de la cámara salina (pesos de las láminas post desgaste) y la ecuación 2, los resultados se observan en la siguiente tabla:

**Tabla 24.**

*Cálculo de velocidades de corrosión.*

Lamina	Masa antes (g)	Masa después (g)	Pérdida de masa (g)	Pérdida de masa (mg)	Área (dm <sup>2</sup> )	Tiempo (días)	Velocidad de corrosion (mdd)
Sin pintura	91,9960	93,0677	1,0717	1071,7	0,04	4,1	6534,756
Sin inhibidor a	93,7255	93,7400	0,0145	14,5	0,04	4,1	88,415
Sin inhibidor b	94,4819	94,5005	0,0186	18,6	0,04	4,1	113,415
Con inhibidor a	94,4114	94,3911	-0,0203	-20,3	0,04	4,1	-123,780
Con inhibidor b	94,6390	94,6195	-0,0195	-19,5	0,04	4,1	-118,902
Inhibidor comercial	95,5173	95,0023	-0,5150	-515	0,04	4,1	-3140,244

**Nota.** La tabla muestra los datos y cálculos de la velocidad de corrosión de las láminas utilizadas en la prueba de cámara salina.

En base a la tabla 18, se puede observar cómo las 3 láminas que no tienen ningún tipo de inhibidor de corrosión presentan valores de velocidad de corrosión positivos, mientras que las láminas que cuentan con el compuesto de inhibidor de corrosión generan valores de velocidad de corrosión negativos. Los valores de la velocidad de corrosion menores demuestran una reducción o un freno al avance del proceso, de esto se puede analizar que si bien la aplicación de la pintura base reduce bastante la acción corrosiva en relación a la lámina sin pintura, si se evidencia la acción inhibitoria de corrosión del extracto de almendra del mango (no superior a la del anticorrosivo comercial con una velocidad de -3140,244 mdd, pero si hay un efecto directo en el fenómeno), cabe resaltar que para la

formulación del recubrimiento se usó el extracto inhibidor en una proporción másica del 2% en relación a la totalidad de la pintura y por otra parte se nota que la lámina que menos se vio afectada por la corrosión fue a la que se le aplicó el anticorrosivo comercial.

#### 4.5. Prueba de adherencia

Los resultados arrojados por la prueba de adherencia son directamente los presentados en el informe de prueba de adherencia suministrado por la Universidad Nacional de Colombia.

**Figura 62.**

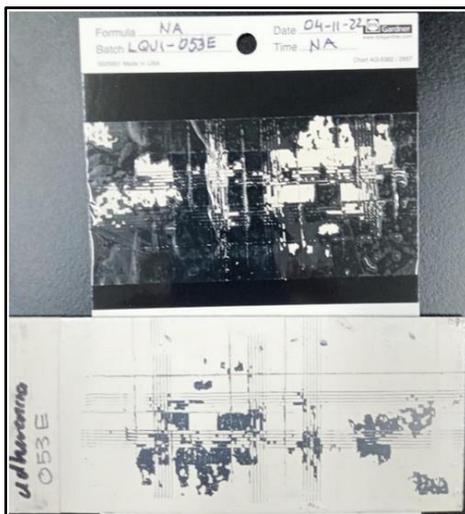
*Prueba de adherencia*

Prueba	Resultado	Descripción
<b>Adherencia</b>	0B – Remoción mayor al 65% del área en la cuadrícula.	La prueba de adherencia se realiza a paneles o laminas traídas por el cliente, no se tiene información del sustrato metálico. Tampoco se tiene información de espesor de la película aplicada, se desconoce el tiempo de secado o fraguado La aplicación es de aspecto blando con aparente falta de tiempo de secado. La película se levanta fácilmente con la uña.

**Nota.** La figura muestra los resultados de la prueba de adherencia. **información suministrada por la Universidad Nacional de Colombia, ver anexo 2).**

**Figura 63.**

*Resultados de la prueba de adherencia*



**Nota.** La figura muestra los resultados de la prueba de adherencia por cinta.  
**(Ver anexo 2).**

Al parecer la composición final entregada en el proceso de formulación resulto en un recubrimiento delgado, el cual se puede retirar con facilidad al momento de realizar las incisiones y la prueba con cinta, además de procesos de rasgado de la lámina.

Esto indica que tal vez se debería aumentar la concentración de secantes, resina y el tiempo de secado final de la pintura en la superficie sobre la cual se desee aplicar, aun asi como se pudo observar anteriormente, la aplicación de este revestimiento genera una película de proteger el material de la corrosión.

## 5. CONCLUSIONES

El sustrato elegido para la investigación (almendra del mango) presenta la propiedad inhibidora de corrosión esperada para la formulación de la pintura protectora, esto se muestra en el cálculo de las velocidades de corrosión con valores de  $-123,780$  mdd y  $-118,902$  para las dos laminas sometidas a condiciones de deterioro. Visualmente el recubrimiento está funcionando como un material de pasivación entre la superficie aplicada y el entorno.

Se logró evidenciar que la concentración de sustrato aplicada a la formulación de la pintura (2%), es la adecuada teniendo en cuenta que su naturaleza orgánica en mayor concentración podría generar un efecto adverso al de la protección buscada.

Las matrices de selección funcionan como apoyo metodológico en la verificación de la selección de la materia prima, debido a que con ellas se pueden establecer cuáles son las condiciones más favorables de recolección y preservación de la misma, además de comparar las características más importantes con el fin de hacer la elección correcta.

El método de extracción de compuestos fenólicos escogido (soxhlet) estableció una concentración del compuesto de interés equivalente al 18 % del total en peso de la materia orgánica. Las características atribuidas a la concentración final varían con la aplicación de un número mayor de ciclos de extracción, aun así el resultado final incluso deja material sobrante para una meta de producción a escala laboratorio mayor a la obtenida en esta investigación.

Al finalizar el análisis de la determinación de polifenoles totales con el método de Folin – Ciocalteu se puede observar la diferencia del resultado final experimental ( $9,2343$  mg/L), al del encontrado en bibliografía (en un rango de  $8$  a  $19,26$  mg/L para este sustrato en particular), estos valores cambian debido a las condiciones del ensayo y la concentración del extracto final obtenida en el soxhlet; aun así, la concentración final expresada en el ensayo tuvo el suficiente poder de inhibición como para proteger las láminas de acero al carbono del ambiente corrosivo.

Los costos asociados al diseño de producción (\$187.090.640) se verán afectados directamente teniendo en cuenta la meta de producción esperada. los costos de los equipos (\$110.932.920), sin tener en cuenta costos indirectos de producción, muestran que la inversión en el montaje de una planta en escala piloto de la pintura es viable si la meta de producción se ajusta a la recuperación de la inversión en un corto plazo.

Se pudo determinar que el fenómeno de corrosión que más afecta a las láminas en condiciones de salinidad y temperatura extremas fue el de la corrosión localizada (si esta corrosión no afecta el centro de la lámina, no se ve comprometida su integridad estructural).

La formulación final dio como resultado una pintura delgada y blanda, esto se debe a las proporciones de los reactivos utilizados en la síntesis de la misma y que el tiempo de secado en aplicación a la superficie del material seleccionado debió ser más prolongado, pero tuvo la resistencia suficiente como para no desprenderse durante la prueba en cámara salina y protegió las láminas de acero al carbono de la corrosión después de 100 horas de ensayo, que es el eje central de esta investigación.

En la bibliografía estudiada no se encontraron efectos adversos de los componentes polifenólicos, además se registraron en varios casos que las imprimaciones desarrolladas por los diferentes autores tenían acciones sinérgicas con anticorrosivos comerciales, sin embargo, se determina que los inhibidores de corrosión se agotan con el tiempo por lo que se recomienda su aplicación en la última capa protectora de una imprimación.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Chaverra Agudelo, "Revelan el costo global de la corrosión," Zona de Pinturas, 14-Jun-2016. [Online]. Available: [https://www.zonadepinturas.com/201606146395/noticias/empresas/revelan-el-costo-global-de-la-corrosion.html#:~:text=NACE%20International%20public%C3%B3%20el%20estudio,interior%20bruto%20mundial%20\(PIB\)](https://www.zonadepinturas.com/201606146395/noticias/empresas/revelan-el-costo-global-de-la-corrosion.html#:~:text=NACE%20International%20public%C3%B3%20el%20estudio,interior%20bruto%20mundial%20(PIB).). [Accessed: 28-Nov-2022].
- [2] J.A Salazar Jiménez, "introducción al fenómeno de la corrosión: Tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales (nota técnica)" Vol. 28, N° 3, Pag 127-136, 2015. [online]. Available: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v28n3/0379-3982-tem-28-03-00127.pdf>.
- [3] ¿Cuáles son los tipos de corrosión más frecuentes y cómo evitarlos? |Alsimet", Alsimet.es, 2022. [Online]. Available: <http://alsimet.es/es/noticias/tipos-de-corrosion-como-evitarlos>. [Accessed: 03- Oct- 2022].
- [4] "Unidad 12. Fundamentos de corrosión y protección", Upv.es, 2022. [Online]. Available: [https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12\\_4.html](https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12_4.html). [Accessed: 03-Oct- 2022].
- [5] P. Garces Terradillos, O. Troconis de Rincón, E. E. Maldonado Bandala, P. Castro Borges, C. Andrade Pedrix, "Recomendaciones sobre velocidad de corrosión, Recomendaciones técnicas" Vol. 3, 2020. Doi: <https://doi.org/10.21041/AlconpatInternacional/RecTec/2020-03-velocidaddecorrosion>.
- [6] G. E. Fabre Cruz, C. Juárez García, E. Palma Constantino, J. E. Gálvez Morales, T. Zapata Mota, "Método de protección catódica para controlar la corrosión galvánica", Facultad de ingeniería mecánica-eléctrica, Universidad Veracruzana, Veracruz (México), 2013. Online. Available: <https://lopezva.wordpress.com/about/>.
- [7] V. Nonsoque Agudelo, T. A. Corredor Ortiz, "Evaluación de un recubrimiento orgánico a base del extracto antioxidante de la semilla de chía para tuberías de transporte de

agua de producción petrolera” Tesis de pregrado, Facultad de ingenierías, Ingeniería química, Fundación Universidad de América, Bogotá (Colombia), 2021. Online. Available:  
<http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8637/1/6161736-2021-2-IP.pdf>

[8] K. Kakaei, M. Esrafil, A. Ehsani, “Graphene Surfaces: Particles and Catalysts”, Ed 1. Vol 27. INTERFACE SCIENCE AND TECHNOLOGY, octubre 9 – 2018. Online. Available:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128145234000083>.

[9] E. Bedoya Ospina, “DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN DE LOS BIOMATERIALES TI6AL4V Y 316L MEDIANTE LA TÉCNICA RESISTENCIA A LA POLARIZACIÓN LINEAL” Tesis de pregrado, Facultad de ingeniería mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira (Colombia), 2018. Online. Available:  
<https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/0ece42bf-cb47-4a2d-b16c-33a75f581850/content>

[10] J. A. Suarez Quintero. “Evaluación de inhibidores se corrosión aplicados en la industria mediante pruebas electroquímicas” Tesis de pregrado, Facultad de ingeniería, Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, Tunja (Colombia), 2018.

[11] R. R. Winston. “Uhlig’s Corrosion handbook”, Ottawa, Ontario (Canadá), 3 ed, a John Wiley & Sons INC publication, pp. 1021, 2011.

[12] P. R. Roberge. “CORROSION ENGINEERING: Principles and practice”, 1st ed, 2008, McGraw-Hill.

[13] “Componentes necesarios para un recubrimiento de protección: Recubrimiento y aplicación de pintura en metales como el hierro,” Recubrimiento y aplicación de pintura en metales como el hierro, 18-Apr-2018. [Online]. Available:  
<http://aplicacionesyrecubrimientos.es/componentes-necesarios-para-un-recubrimiento-de-proteccion/>. [Accessed: 16-Nov-2022].

- [14] M. Quiñones, M. Miguel, y A. Aleixandre, “Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular,” *Nutrición Hospitalaria*, 2012. [Online]. Available: [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0212-16112012000100009](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112012000100009). [Accessed: 21-Nov-2022].
- [15] A. M. Salazar-Beleño, H. J. Paz-Díaz, L. A. Carreño-Castaño, M. M. Pacheco-Valderrama, and C. J. Murillo-Méndez, “Evaluación del efecto antioxidante del extracto poli fenólico de la almendra del mango (*Mangifera indica* L.) var. Magdalena River,” *Ciencia y Agricultura*, 01-Jan-1970. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/5600/560068358002/html/#:~:text=Se%20determin%C3%B3%20el%20contenido%20de%20polifenoles%20totales%20en%20la%20a%20almendra,100%20g%20de%20muestra%20seca>. [Accessed: 21-Nov-2022].
- [16] P. Kumari and L. M., “Plant extracts as corrosion inhibitors for aluminum alloy in NaCl environment - recent review,” *Journal of the Chilean Chemical Society*. [Online]. Available: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-97072022000205490&lng=en&nrm=iso&tlng=en](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-97072022000205490&lng=en&nrm=iso&tlng=en). [Accessed: 21-Nov-2022].
- [17] “¿Qué es la química verde?,” ChemHAT. [Online]. Available: <https://www.chemhat.org/es/%C2%BFqu%C3%A9-es-la-qu%C3%ADmica-verde>. [Accessed: 21-Nov-2022].
- [18] M. G. Campos Mondragón, “Soxhlet, del inventor Al Método,” *Revista de divulgación Saber más UMSNH*. [Online]. Available: <https://www.sabermás.umich.mx/archivo/articulos/244-numero-29/450-soxhlet-del-inventor-al-metodo.html>. [Accessed: 21-Nov-2022].
- [19] “Mango (*Mangifera indica*),” *NaturaLista Colombia*. [Online]. Available: <https://colombia.inaturalist.org/taxa/48872-Mangifera-indica>. [Accessed: 21-Nov-2022].
- [20] D. Miranda Lasprilla, J. Figueroa Ramírez, J. Clímaco Hío, C. P. Pérez Rodríguez, F. Parada Alfonso, R. Rodríguez Torres, and E. Arias Barrera, “Mango (*Mangifera*

Indica L.),” UNAL. [Online]. Available: <http://www.investigacion.bogota.unal.edu.co/>. [Accessed: 21-Nov-2022].

- [21] A. Corrales-Bernal, M. E. Maldonado, L. A. Urango, M. C. Franco, and B. A. Rojano, “Mango de Azúcar (*Mangifera indica*), Variedad de Colombia: Características Antioxidantes, Nutricionales Y Sensoriales,” *Revista chilena de nutrición*. [Online]. Available: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-75182014000300013](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182014000300013). [Accessed: 21-Nov-2022].
- [22] “ASTM B117 - Normas,” *Industrial Physics*. [Online]. Available: <https://industrialphysics.com/es/normas/astm-b117-es/>. [Accessed: 28-Nov-2022].
- [23] Pintuco, “La Norma ISO 12944 y su importancia para la protección del acero,” *Pinturas Pintuco*, 02-Feb-2022. [Online]. Available: <https://pintuco.com.co/blog/industrial/control-de-corrosion/norma-iso-12944-proteccion-acero/>. [Accessed: 28-Nov-2022].
- [24] "Naranja - Información general", *Frutas-hortalizas.com*, 2022. [Online]. Available: <https://www.frutas-hortalizas.com/Frutas/Presentacion-Naranja.html>. [Accessed: 07- Sep- 2022].
- [25] E. Ordoñez Gómez, D. Reátegui Díaz and J. Villanueva Tiburcio, "Polifenoles totales y capacidad antioxidante en cáscara y hojas de doce cítricos", *SciELO.org.pe*, 2022. [Online]. Available: <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v9n1/a12v9n1.pdf>. [Accessed: 07- Sep- 2022].
- [26] M. Romainville, "Citricaldas y el reto de tecnificar la producción para ser más competitivos", *Redagrícola Colombia*, 2022. [Online]. Available: <https://www.redagricola.com/co/citricaldas-y-el-reto-de-tecnificar-la-produccion-para-ser-más-competitivos/>. [Accessed: 07- Sep- 2022].
- [27] "Mango - Información general", *Frutas-hortalizas.com*, 2022. [Online]. Available: <https://www.frutas-hortalizas.com/Frutas/Presentacion-Mango.html>. [Accessed: 07- Sep- 2022].

- [28] A. Salazar-Beleño, H. Paz-Díaz, L. Carreño-Castaño, M. Pacheco-Valderrama & C. Murillo-Méndez, "Evaluación del efecto antioxidante del extracto poli fenólico de la almendra del mango (*Mangifera indica* L.) var. Magdalena river", Redalyc.org, 2022. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/5600/560068358002/html/#:~:text=Se%20determin%C3%B3%20el%20contenido%20de%20polifenoles%20totales%20en%20la%20almendra,100%20g%20de%20muestra%20seca.> [Accessed: 07- Sep- 2022].
- [29] "CADENA DEL MANGO", Sioc.minagricultura.gov.co, 2022. [Online]. Available: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Mango/Documentos/2021-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>. [Accessed: 07- Sep- 2022].
- [30] "Limón - Información general", Frutas-hortalizas.com, 2022. [Online]. Available: <https://www.frutas-hortalizas.com/Frutas/Presentacion-Limon.html>. [Accessed: 07- Sep- 2022].
- [31] "Arándano - Información general", Frutas-hortalizas.com, 2022. [Online]. Available: <https://www.frutas-hortalizas.com/Frutas/Presentacion-Arandano.html>. [Accessed: 07- Sep- 2022].
- [32] L. Gibson, H. P. Vasantha, C. Forney, "Characterization of Changes in Polyphenols, Antioxidant Capacity and Physico-Chemical Parameters during Lowbush Blueberry Fruit Ripening", Pubmed Central, 2022. [Online]. Available: [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4665526/#:~:text=Blueberries%20in%20particular%20are%20a,expressed%20as%20gallic%20acid%20equivalents\).](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4665526/#:~:text=Blueberries%20in%20particular%20are%20a,expressed%20as%20gallic%20acid%20equivalents).) [Accessed: 07-Sep-2022].
- [33] S. Thilakarathna and H. Vasantha, "Anti-atherosclerotic effects of fruit bioactive compounds: A review of current scientific evidence", Canadian Journal of Plant Science, 2022. [Online]. Available: <https://cdnsiencepub.com/doi/10.4141/cjps2011-090>. [Accessed: 07- Sep- 2022].
- [34] C. Lozada Pardo, "Los arándanos: el nuevo producto con potencial de exportación de Colombia", Metroflor, 2022. [Online]. Available:

<https://www.metroflorcolombia.com/los-arandanos-el-nuevo-producto-con-potencial-de-exportacion-de-colombia/>. [Accessed: 07- Sep- 2022].

- [35] D. Vergara Peña, Repository.agrosavia.co, 2022. [Online]. Available: [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/36982/Ver\\_Documento\\_36982.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/36982/Ver_Documento_36982.pdf?sequence=4&isAllowed=y). [Accessed: 07- Sep- 2022].
- [36] "Fruta de la pasión - Información general", Frutas-hortalizas.com, 2022. [Online]. Available: <https://www.frutas-hortalizas.com/Frutas/Presentacion-Fruta-de-la-pasion.html>. [Accessed: 07- Sep- 2022].
- [37] J. C. Carmona Hernández, G. Taborda, J. C. Valdez, B. Bolling, "Los extractos de polifenoles de tres pasifloras colombianas (frutas de la pasión) previenen la disfunción de la barrera inducida por la inflamación de las células CaCo2", Pubmed Central, 2022. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6943731/>. [Accessed: 07-Sep-2022].
- [38] J. Gomes, J. Rocha and E. D'elia, Patentimages.storage.googleapis.com, 2022. [Online]. Available: <https://patentimages.storage.googleapis.com/ed/e8/f0/fd843927c4b830/EP2386338A1.pdf>. [Accessed: 07- Sep- 2022].
- [39] "CADENA DE PASIFLORAS", Sioc.minagricultura.gov.co, 2022. [Online]. Available: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Pasifloras/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>. [Accessed: 07- Sep- 2022].
- [40] "El cultivo de la naranja Valencia (Citrus sinensis [L.] Osbeck) y su producción como respuesta a la aplicación de correctivos y fertilizantes y al efecto de la polinización dirigida con abeja Apis mellifera," DANE. [Online]. Available: [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol\\_Insumos\\_oct\\_2016.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_oct_2016.pdf). [Accessed: 17-Feb-2023].
- [41] "El cultivo Del Mango y su potencial de valor agregado," Uniminuto. [Online]. Available: <https://www.uniminuto.edu/noticias/el-cultivo-del-mango-y-su-potencial->



u%20se,determinada%20espectrofotom%C3%A9tricamente%20a%20765%20nm.  
[Accessed: 24-Nov-2022].

- [48] InnovacionDocenteUMH, “Lec007 Prácticas de técnicas Instrumentales – Determinación del Contenido de polifenoles totales 1,” YouTube, 02-Jul-2021. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=Wn3RuR9cppl&t=3s>. [Accessed: 24-Nov-2022].
- [49] “Prueba de Cámara Salina,” Recubrimientos Industriales, 26-May-2021. [Online]. Available: <https://recubrimientosindustriales.com.co/2021/05/26/prueba-de-camara-salina/>. [Accessed: 28-Nov-2022].
- [50] Laboratuvar, “Método de Prueba Estándar ASTM D3359 para clasificar La Adhesión Mediante Prueba de Cinta,” Método de prueba estándar ASTM D3359 para clasificar la adhesión mediante prueba de cinta. [Online]. Available: <https://www.laboratuvar.com/es/testler/astm-testleri/astm-d3359-bant-testiyle-yapisma-derecelendirmesi-icin-standart-test-yontemi/>. [Accessed: 28-Nov-2022].
- [51] “Silos - Consideraciones Generales,” INESA TECH. [Online]. Available: <https://www.inesa-tech.com/blog/silos-consideraciones-generales>. [Accessed: 28-Nov-2022].
- [52] J. P. Hinestroza Durán, “Diseño, construcción y prueba de una máquina descascaradora de semillas de algodón,” Repositorio Universidad Pontificia Bolivariana, 2011. [Online]. Available: [https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1177/digital\\_20792.pdf?sequence=1](https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1177/digital_20792.pdf?sequence=1). [Accessed: 28-Nov-2022].
- [53] “Lavadora de Frutas CI Talsa LIA1,” CI TALSA. [Online]. Available: <https://www.citalsa.com/products/lavadora-de-frutas-ci-talsa-lia1>. [Accessed: 28-Nov-2022].
- [54] “Secador de Bandejas - u-cursos.CL.” [Online]. Available: [https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2007/2/IQ53D/1/material\\_docente/bajar?id\\_material=137822](https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2007/2/IQ53D/1/material_docente/bajar?id_material=137822). [Accessed: 28-Nov-2022].

- [55] “Los Molinos trituradores en el proceso de reciclaje de plásticos,” Interempresas. [Online]. Available: <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/197049-Los-molinos-trituradores-en-el-proceso-de-reciclaje-de-plasticos.html>. [Accessed: 28-Nov-2022].
- [56] G. C., M. S., and K. A., “Filtro Multimedios industrial con Tanque de Acero Serie MF-1000,” Pure Aqua Inc. [Online]. Available: <https://es.pureaqua.com/filtro-de-medios-industrial-con-tanque-de-acero/>. [Accessed: 28-Nov-2022].
- [57] A. Anaya Durand and H. Pedroza-Flores, “Escalamiento, el arte de la ingeniería química: Plantas piloto, el paso entre el huevo y la gallina,” redalyc, 2008. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/482/48223105.pdf>. [Accessed: 28-Nov-2022].
- [58] C. A. Ramírez León and C. A. León Arce, “PUESTA A PUNTO DE LA CÁMARA SALINA Y EQUIPO DE DESGASTE POR ABRASIÓN SEGÚN NORMAS TÉCNICAS ASTM B117 Y ASTM G-65, UBICADOS EN EL LABORATORIO DE MOLINOS DE LA UNIVERSIDAD LIBRE,” Repositorio Universidad Libre. [Online]. Available: [https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10388/Documento\\_Final\\_Puesta\\_A\\_Punto\\_Camara\\_Salina\\_Y\\_Equipo\\_Desgaste%2026-02-2017.pdf](https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10388/Documento_Final_Puesta_A_Punto_Camara_Salina_Y_Equipo_Desgaste%2026-02-2017.pdf). [Accessed: 17-Feb-2023].
- [59] “Temperatura y velocidad de corrosión.... Correlación más compleja de lo que uno piensa,” Materials Technology Institute/ Boletín de conocimiento técnico. [Online]. Available: [https://mti.memberclicks.net/assets/documents/TAC-Bulletins/Non-Member-Spanish/TAC%20Bulletin\\_no.13%20Spanish-non-member.pdf](https://mti.memberclicks.net/assets/documents/TAC-Bulletins/Non-Member-Spanish/TAC%20Bulletin_no.13%20Spanish-non-member.pdf). [Accessed: 17-Feb-2023].
- [60] “Extracción Asistida por fermentación fúngica de Antioxidantes Fenólicos,” Acta Química Mexicana. [Online]. Available: <http://www.actaquimicamexicana.uadec.mx/?p=571>. [Accessed: 17-Feb-2023].
- [61] “¿Qué es la corrosión?,” *Bardahl Industria*, 24-Aug-2018. [Online]. Available: <https://www.bardahlindustria.com/explicacion-corrosion/>. [Accessed: 22-Feb-2023].

- [62] A. G. Ollarves, “¿Qué es la corrosión y cómo evitarla?: Bricolemar Blog,” Blog de Bricolaje Bricolemar, 23-Aug-2017. [Online]. Available: <https://www.bricolemar.com/blog/como-evitar-corrosion/>. [Accessed: 22-Feb-2023].
- [63] S. Parra, “Tipos de corrosión en el Acero,” *Tipos de corrosión en el acero*. [Online]. Available: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/tipos-de-corrosion-en-el-acero>. [Accessed: 22-Feb-2023].
- [64] *Unidad 12. Fundamentos de Corrosión y Protección*. [Online]. Available: [https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12\\_4.html](https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12_4.html). [Accessed: 22-Feb-2023].
- [65] CristianGar, “Corrosión por cavitación - ingeniería mecánica,” *corrosión por cavitación - ingeniería mecánica*, 27-Nov-2022. [Online]. Available: <https://ingenieriamecanicacol.blogspot.com/2016/07/corrosion-por-cavitacion.html>. [Accessed: 22-Feb-2023].
- [66] “MIRC. ¿Qué es la corrosión microbiológica?,” *Cleanstart*. [Online]. Available: <https://elektrokorrosion.com.ar/2020/04/07/mirc-que-es-la-corrosion-microbiologica/>. [Accessed: 22-Feb-2023].
- [67] CristianGar, “Corrosión por erosión - Ingeniería mecánica,” *corrosión por erosión - ingeniería mecánica*, 27-Nov-2022. [Online]. Available: <https://ingenieriamecanicacol.blogspot.com/2016/07/corrosion-por-erosion.html>. [Accessed: 22-Feb-2023].
- [68] CristianGar, “Corrosión por esfuerzos - ingeniería mecánica,” *corrosión por esfuerzos - ingeniería mecánica*, 27-Nov-2022. [Online]. Available: <https://ingenieriamecanicacol.blogspot.com/2016/06/corrosion-por-esfuerzos.html>. [Accessed: 22-Feb-2023].

- [69] "Tafel extrapolation," *Tafel Extrapolation - an overview | ScienceDirect Topics*. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/tafel-extrapolation>. [Accessed: 22-Feb-2023].
- [70] "Ácido nítrico 50%," *Suquin S.A.S.* [Online]. Available: <https://www.suquin.com.co/TIENDA/Acido-Nitrico-50-p454942159>. [Accessed: 22-Feb-2023].
- [71] "Anticorrosivo Pintuland," *Pintuland*, 09-Nov-2022. [Online]. Available: <https://pintuland.com.co/product/anticorrosivo/>. [Accessed: 22-Feb-2023].
- [72] P. Chemistry, "Polifenoles de Avena," *PURE CHEMISTRY® S.A.S. Dermatochemistry*, 06-Sep-2021. [Online]. Available: <https://www.purechemistryonline.com/blog/polifenoles>. [Accessed: 22-Feb-2023].
- [73] "Extracción Sólido-Líquido (soxhlet)," *De Química*, 10-Nov-2022. [Online]. Available: <https://www.dequimica.info/extraccion-solido-liquido/>. [Accessed: 22-Feb-2023].
- [74] M. Ramírez, "Aplicación secuencial de Dos tratamientos hidrotérmicos en frutos de ..." [Online]. Available: [https://mcta.uas.edu.mx/pdf/repositorio/2014-2016/07\\_Ramirez\\_Perales\\_Maria\\_Fernanda.pdf](https://mcta.uas.edu.mx/pdf/repositorio/2014-2016/07_Ramirez_Perales_Maria_Fernanda.pdf). [Accessed: 23-Feb-2023].
- [75] "Cámara de Niebla Salina Para Los Recubrimientos," *Coatresa*, 14-Jan-2019. [Online]. Available: <https://www.coatresa.com/camara-de-niebla-salina/>. [Accessed: 22-Feb-2023].
- [76] "Semilla De Mango: Característica, USO y cultivo," *Sembrar100*, 17-Aug-2022. [Online]. Available: <https://www.sembrar100.com/arboles/mango/semilla/>. [Accessed: 22-Feb-2023].
- [77] "Equipo de Uso Veterinario para bioterio: Animales de Laboratorio: Insumos, bebederos Y accesorios," *Circulo ADN*. [Online]. Available: <https://www.circuloadn.com.mx/site/producto/guillotina-para-roedores>. [Accessed: 22-Feb-2023].

- [78] E. García, I. Fernández, A. Fuentes, “Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu,” *UPV*, 09-Nov-2020. [Online]. Available: <https://riunet.upv.es/handle/10251/52056>. [Accessed: 22-Feb-2023].
- [79] I “Silos - Consideraciones Generales,” *INESA TECH*. [Online]. Available: <https://www.inesa-tech.com/blog/silos-consideraciones-generales>. [Accessed: 22-Feb-2023].
- [80] “Descascarador de Cacao / Clasificador de Nibs,” *Vulcanotec*, 14-Aug-2022. [Online]. Available: <https://vulcanotec.com/maquinaria/descascaradora-de-cacao-clasificador-de-nibs/>. [Accessed: 22-Feb-2023].
- [81] “Lavadora de Frutas CI Talsa LIA1” *CI TALSA*. [Online]. Available: <https://www.citalisa.com/products/lavadora-de-frutas-ci-talsa-lia1>. [Accessed: 22-Feb-2023].
- [82] “Industrial Hot Air Tray Dryer,” *Industrial Hot Air Tray Dryer - Buy Tray Dryer, Industrial Tray Dryer, Hot Air Dryer Product on Alibaba.com*. [Online]. Available: [https://www.alibaba.com/product-detail/industrial-hot-air-tray-dryer\\_60429893034.html](https://www.alibaba.com/product-detail/industrial-hot-air-tray-dryer_60429893034.html). [Accessed: 22-Feb-2023].
- [83] “Molino Triturador Eléctrico Ocasional JTRF400 De 2 Hp,” *Homecenter.com.co*. [Online]. Available: [https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/101367/molino-triturador-forrajero-jtrf400/101367/?kid=goosho\\_1161562&shop=googleShopping&gclid=Cj0KCQiAsoycBhC6ARIsAPPbeLt7Ez6S0A7pMxhll78FNlXnqtA\\_ZCDUh6haEhqwftIUk1NcUXCtL6waAhDGEALw\\_wcB](https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/101367/molino-triturador-forrajero-jtrf400/101367/?kid=goosho_1161562&shop=googleShopping&gclid=Cj0KCQiAsoycBhC6ARIsAPPbeLt7Ez6S0A7pMxhll78FNlXnqtA_ZCDUh6haEhqwftIUk1NcUXCtL6waAhDGEALw_wcB). [Accessed: 22-Feb-2023].
- [84] G. C., M. S., and K. A., “Filtro Multimedia industrial con Tanque de Acero Serie MF-1000,” *Pure Aqua Inc*. [Online]. Available: <https://es.pureaqua.com/filtro-de-medios-industrial-con-tanque-de-acero/>. [Accessed: 22-Feb-2023].

- [85] “Extracción solido-liquido,” *De Dietrich Process Systems*. [Online]. Available: <https://www.dedietrich.com/es/soluciones-y-productos/extraccion/extraccion-solido/liquido>. [Accessed: 22-Feb-2023].
- [86] “Tanque Mezclador,” *Sagafluid*, 15-Sep-2020. [Online]. Available: <https://sagafluid.com/equipos/tanque-mezclador/>. [Accessed: 22-Feb-2023].
- [87] M. F. Ali, “7. Paints, Pigments, and Industrial Coatings,” 2002.

# **ANEXOS**

**ANEXO 1**

**NORMAS**



# Designación: D 3359-02

## Métodos de prueba estándar para Medir la Adhesión por Ensayo de cintas

Esta norma ha sido publicada bajo la designación fija D 3359; el número inmediatamente después de la designación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de la última revisión. Un número entre paréntesis indica el año de la última aprobación. Una épsilon superíndice (e) indica un cambio editorial desde la última revisión o re-aprobación.

Esta norma ha sido aprobada para su uso por agencias del Departamento de Defensa.

### 1. Alcance

1.1. Estos métodos de ensayo cubren procedimientos para evaluar la adherencia de las películas de revestimiento a sustratos metálicos mediante la aplicación y la eliminación de cinta sensible a la presión sobre cortes hechos en la película

1.2. Método de Prueba A está destinado principalmente para su uso en los sitios de trabajo, mientras que el Método de Prueba B es más adecuado para su uso en el laboratorio. Además, el Método de Ensayo B no se considera adecuado para películas más gruesas de 5 milésimas de pulgada (125µm).

NOTA 1-reserva de un acuerdo entre el comprador y el vendedor, Método de prueba B se puede utilizar para películas más gruesas si se emplean cortes espaciados más amplio.

1.3. Estos métodos de ensayo se utilizan para establecer si la adhesión de un revestimiento a un sustrato está a un nivel generalmente adecuada. No distinguen entre los niveles más altos de adhesión para los que se requieren métodos más sofisticados de medición.

NOTA 2-Se debe reconocer que las diferencias en capacidad de adherencia de la superficie del recubrimiento pueden afectar a los resultados obtenidos con revestimientos que tienen la misma adherencia inherente.

1.4. En los sistemas multicapa se puede producir fallo de adhesión entre las capas de modo que la adhesión del sistema de revestimiento al sustrato no está determinada.

1.5. Los valores indicados en unidades SI deben ser considerados como el estándar. Los valores entre paréntesis son sólo para información.

1.6. Esta norma no pretende abordar los problemas de seguridad, si los hay, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer las prácticas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.

### 2. documentos de referencia

#### 2.1. Normas ASTM:

D 609 Práctica para la Elaboración de paneles de acero laminado en frío para pruebas de pintura, barnices, recubrimientos de conversión, y los productos relacionados Revestimientos

D 823 Prácticas para la producción de películas de espesor uniforme de pintura, barniz y productos relacionados en los paneles de prueba

D 1000 Método de prueba para cintas sensibles a la presión AdhesiveCoated usados para productos eléctricos y electrónicos Aplicaciones

D 1730 Prácticas para la elaboración de aluminio y aleación de aluminio de superficies para pintar

D 2092 Guía para la preparación de cinc-Coated (galvanizado) Las superficies de acero para Pintura

D 2370 Método de prueba para propiedades de tracción de revestimientos orgánicos

D 3330 Prueba Método para Peel Adhesion de Cinta sensible a la presión

D 3924 Especificación para el Medio Ambiente normales para el acondicionamiento y pruebas de pintura, barnices, lacas y materiales relacionados

D 4060 Método de prueba para la resistencia a la abrasión de los recubrimientos orgánicos por el Taber

### 3. Resumen de los Métodos de Ensayo

3.1. Método de Ensayo A-X-Un corte se hace a través de la película al sustrato, la cinta sensible a la presión se aplica sobre el corte y luego se retira, y la adhesión se evalúa cualitativamente en la escala de 0 a 5.

3.2. Método de Ensayo B-A patrón reticular, ya sea con seis u once cortes en cada dirección se realizan en la película al sustrato, la cinta sensible a la presión se aplica sobre la red y luego se retira, y la adhesión se evalúa por comparación con descripciones e ilustraciones.

### 4. significado y uso

4.1. Si es un revestimiento para cumplir su función de proteger o decorar un sustrato, debe adherirse a ella durante la vida útil esperada. Debido a que el sustrato y su preparación de la superficie (o la falta de la misma) tienen un efecto drástico en la adherencia de los revestimientos, un método para evaluar la adhesión de un revestimiento a diferentes sustratos o tratamientos de superficie, o de diferentes recubrimientos a el mismo sustrato y el tratamiento, es de considerable utilidad en la industria.

4.2. Las limitaciones de todos los métodos de adhesión y la limitación específica de este método de ensayo para los niveles más bajos de adherencia (ver 1.3) deben ser reconocidos antes de usarlo. La precisión intra- e inter-laboratorio de este método de ensayo es similar a otras pruebas ampliamente aceptadas para sustratos recubiertos (por ejemplo, la norma ASTM D 2370 y ASTM D 4060), pero esto es en parte el resultado de que sea insensible a todo, pero las grandes diferencias en la adherencia. Se seleccionó la escala limitada de 0 a 5 deliberadamente para evitar una falsa impresión de ser sensible.

### MÉTODO DE ENSAYO A-X-cinta cortada

### 5. Aparatos y Materiales

5.1. Herramienta de corte de la cuchilla de afeitar-Agudo, bisturí, cuchillo u otros dispositivos de corte. Es especialmente importante que los bordes de corte estén en buenas condiciones.

5.2. Guía de corte-acero u otro metal duro regla para asegurar cortes rectos.

5.3. Cinta de 25 mm (1,0 pulg.) De ancho de cinta sensible a la presión semitransparente con una fuerza de adhesión acordado entre el proveedor y el usuario es necesaria. Debido a la variabilidad en la fuerza de adhesión de lote a lote y con el tiempo, es esencial que la cinta del mismo lote puede utilizar cuando las pruebas se van a ejecutar en diferentes laboratorios. Si esto no es posible el método de prueba debe ser usada sólo para la clasificación de una serie de recubrimientos de prueba.

5.4. El borrador de goma, en el extremo de un lápiz.

5.5. Iluminación de una fuente de luz es útil para determinar si los recortes se han hecho a través de la película al sustrato.

### 6. Especímenes de prueba

6.1. Cuando se utiliza este método de ensayo en el campo, la muestra es la estructura recubierta o artículo en el que la adhesión se va a evaluar.

6.2. Para uso en laboratorio aplicar los materiales a ensayar a los paneles de la composición y las condiciones de la superficie sobre la que se desea que para determinar la adhesión.

NOTA 3-Las pruebas aplicables a los métodos de descripción de papel y superficie de preparación se dan en la norma ASTM D 609 y Prácticas D 1730 y D 2092.

Nota 4. Los recubrimientos deben aplicarse en conformidad con la norma ASTM D 823, o según lo acordado entre el comprador y el vendedor.

NOTA 5-Si se desea o se especifica, los paneles de ensayo recubiertos se pueden someter a una exposición preliminar tales como inmersión en agua, pulverización de sal, o alta humedad antes de realizar la prueba de la cinta. Las condiciones y el tiempo de exposición, se registrarán por el uso de recubrimiento final o serán acordados entre el comprador y el vendedor.

## 7. Procedimiento

7.1. Seleccione una zona libre de manchas e imperfecciones menores de la superficie. Para las pruebas en el campo, asegúrese de que la superficie esté limpia y seca. Los extremos en la temperatura o la humedad relativa pueden afectar a la adherencia de la cinta o el revestimiento.

7.1.1. Para las muestras que han sido sumergidas: Después de la inmersión, limpie y seque la superficie con un disolvente adecuado que no dañe la integridad del revestimiento. A continuación, seca o preparar la superficie, o ambos, según lo acordado entre el comprador y el vendedor.

7.2. Hacer dos cortes en la película cada uno aproximadamente 40 mm (1,5 pulg.) De largo que se cruzan cerca de su centro con un menor ángulo de entre 30 y 45 °. Al hacer las incisiones, utilizar la regla y cortar a través del revestimiento al sustrato en un movimiento constante.

7.3. Inspeccionar las incisiones para la reflexión de la luz desde el sustrato metálico para establecer que la película de revestimiento ha sido penetrada. Si el sustrato no se ha alcanzado realice otra X en una ubicación diferente. No intente profundizar en un corte ya que esto puede afectar a la adhesión a lo largo de la incisión.

7.4. Colocar el centro de la cinta en la intersección de los cortes con el desplazamiento de cinta en la misma dirección que los ángulos más pequeños. Suavizar la cinta en su lugar por el dedo en el área de las incisiones y luego se frota firmemente con la goma de borrar en el extremo de un lápiz. El color debajo de la cinta transparente es una indicación útil de cuando se ha hecho un buen contacto.

7.5. Dentro de los 90 - 30 s de aplicación, retirar la cinta agarrando el extremo libre y tirando de él con rapidez (no bruscamente) sobre sí misma a lo más cercano a un ángulo de 180 ° como sea posible.

7.6. Inspeccionar el área X-corte para la eliminación del revestimiento del sustrato o recubrimiento previo y evaluar la adherencia de acuerdo con la siguiente escala:

- 5A Ninguna peladura o remoción,
- 4A Trazar la peladura o remoción a lo largo de las incisiones o en su intersección,
- 3A extracción irregular a lo largo incisiones de hasta 1,6 mm (1/16 pulg.) a ambos lados,
- 2A eliminación Jagged a lo largo de la mayor parte de las incisiones de hasta 3,2 mm (1/8 pulg.) a cada lado,
- 1A La eliminación de la mayoría de la zona de la X bajo la cinta, y
- 0A La eliminación más allá de la zona de la X.

7.7. Repita la prueba en otros dos lugares en cada panel de prueba. Para grandes estructuras hacen pruebas suficientes para garantizar que la evaluación de adherencia es representativa de toda la superficie.

7.8. Después de hacer varios cortes examinan el filo y, si es necesario, eliminar los puntos planos o alambre de punta raspando suavemente sobre una piedra fina de aceite antes de usarlo de nuevo. Desechar las herramientas que se desarrollan las mellas u otros defectos que desgarran la película de corte.

## 8. Informe

8.1. Informe el número de pruebas, su media y rango, y para los sistemas de revestimiento, donde se produjo el error, es decir, entre la primera capa y el sustrato, entre la primera y la segunda mano, etc.

8.2. Para el campo de pruebas informan la estructura o artículo ensayado, la ubicación y las condiciones ambientales en el momento de la prueba.

8.3. Para la prueba de paneles informan el sustrato empleado, el tipo de recubrimiento, el método de curación, y las condiciones ambientales en el momento de la prueba.

8.4. Si la fuerza de adhesión de la cinta se ha determinado de acuerdo con ASTM D 3330 Métodos de 1000 o D, informar de los resultados con la calificación (s) de adhesión. Si no se ha determinado la fuerza de adhesión de la cinta, la cinta reportar específico usado y su fabricante.

8.5. Si la prueba se realiza después de la inmersión, las condiciones de inmersión de informes y el método de preparación de la muestra.

## 9. Precisión y Tendencia

9.1. En un estudio entre laboratorios de este método de ensayo en el que los operadores en seis laboratorios realizan una medición de la adherencia en tres paneles cada uno de tres capas que cubren una amplia gama de adherencia, se encontró que la desviación típica dentro de los laboratorios para ser 0,33 y el 0,44 entre laboratorios. Sobre la base de estas desviaciones estándar, los siguientes criterios deben utilizarse para juzgar la aceptabilidad de los resultados a nivel de confianza del 95%:

9.1.1. adherencia repetibilidad-Siempre es uniforme sobre una gran superficie, los resultados obtenidos por el mismo operador, se deberían considerar sospechosos si difieren en más de 1 unidad de calificación para dos mediciones.

9.1.2. Reproducibilidad Dos resultados, cada uno la media de triplicados, obtenidos por diferentes operadores deben considerarse sospechosos si difieren en más de 1,5 unidades de rago.

9.2. Bias no se puede establecer para estos métodos de ensayo.

### MÉTODO DE PRUEBA B-Corte transversal- prueba de la cinta

## 10. Aparatos y Materiales

10.1. Herramienta de corte-agudo hoja de afeitar, escalpelo, un cuchillo u otro dispositivo de corte que tiene un ángulo de borde de corte entre 15 y 30 ° que hará que sea un solo corte o varios cortes a la vez. Es de particular importancia que el borde de corte o bordes estén en buenas condiciones.

10.2. Guía de corte corta-Si se realizan manualmente (a diferencia de un aparato mecánico) un acero u otro metal duro regla o una plantilla para asegurar cortes rectos.

10.3. regla de acero templado-Regla graduada en 0,5 mm para la medición de los cortes individuales.

10.4. Cinta, tal como se describe en 5.3.

10.5. El borrador de goma, en el extremo de un lápiz.

10.6. Iluminación, como se describe en 5.5.

10.7. Lupa-Una lupa con luz para ser utilizado al hacer cortes individuales y examinando el área de prueba.

## 11. Especímenes de prueba

11.1. Las muestras de ensayo serán los que se describen en la Sección 6. Cabe señalar, sin embargo, que los cortadores Multitip proporcionan buenos resultados sólo en áreas de prueba suficientemente planas que todos los filos de corte en contacto con el sustrato en el mismo grado. Verifique qué tan plano con un borde recto como el de la regla de acero templado (10.3).

## 12. Procedimiento

12.1. Cuando sea necesario o cuando se acuerde, someter los especímenes a una prueba preliminar antes de realizar la prueba de cinta (ver Nota 3). Después de secar o probar el revestimiento, realice el ensayo de la cinta a temperatura ambiente como se define en la Especificación D 3924, a menos que se requiera o convenga la temperatura estándar D 3924.

12.1.1. Para las muestras que han sido sumergidas: Después de la inmersión, limpie y limpie la superficie con un solvente apropiado que no dañará la integridad del revestimiento. A continuación, seque o prepare la superficie, o ambos, según lo acordado entre el comprador y el vendedor.

12.2. Seleccione un área libre de manchas y pequeñas imperfecciones de la superficie, colóquela sobre una base firme y, bajo la lupa iluminada, realice cortes paralelos de la siguiente manera:

12.2.1. Para revestimientos que tienen un espesor de película seca hasta e incluyendo 2,0 milésimas de pulgada (50 micras) de espacio los cortes de 1 mm y hacer once cortes a menos que se acuerde lo contrario.

12.2.2. Para revestimientos que tienen un espesor de película seca entre 2,0 milésimas de pulgada (50 micras) y 5 milésimas de pulgada (125 micras), espacio los cortes de 2 mm de distancia y hacer seis cortes. Para las películas más gruesas que 5 milésimas de pulgada utilizan el método de prueba A.

12.2.3. Haga todos los cortes alrededor de 20 mm (3/4 pulg.) De largo. Corte a través de la película al sustrato en un movimiento constante usando presión justo suficiente sobre la herramienta de corte para que el borde de corte llega al sustrato. Al efectuar cortes individuales sucesivas con la ayuda de un guía, colocar la guía en la zona sin cortar.

12.3. Después de hacer los cortes necesarios cepillan la película suavemente con un cepillo o un paño suave para quitar cualquier escama unifamiliares o cintas de recubrimientos.

12.4. Examine el borde de corte y, si es necesario, eliminar espacios planos o alambre de punta raspando suavemente sobre una piedra fina de aceite. Hacer que el número adicional de cortes a 90° y centrado en los cortes originales.

12.5. Cepillar la zona como antes e inspeccionar las incisiones para la reflexión de la luz a partir del sustrato. Si no se ha alcanzado el metal hacer otra red en una ubicación diferente.

12.6. Retire dos vueltas completas de la cinta y de descarte. Eliminar una longitud adicional a una velocidad constante (es decir, no se sacudió) y tasa de cortar un trozo aproximadamente 75 mm (3 pulg.) De largo.

12.7. Coloque el centro de la cinta sobre la red y en el área de la parrilla de suavizar en su lugar por un dedo. Para asegurar un buen contacto con la película de frotar la cinta firmemente con la goma de borrar en el extremo de un lápiz. El color debajo de la cinta es una indicación útil de cuando se ha hecho un buen contacto.

12.8. Dentro de los 90 - 30 s de aplicación, retirar la cinta agarrando el extremo libre y rápidamente (no bruscamente) sobre sí misma a lo más cercano a un ángulo de 180° como sea posible.

12.9. Inspeccionar el área de la rejilla para la retirada del revestimiento del sustrato o de una capa previa utilizando la lupa con luz. La tasa de adhesión de acuerdo con la siguiente escala se ilustra en la Fig. 1:

- 5B Los bordes de los cortes son completamente lisos; ninguno de los cuadrados de la red no está fijada.
- 4B Las pequeñas escamas del revestimiento se separan en las intersecciones; menos de 5% de la superficie se ve afectada.
- 3B Las pequeñas escamas del recubrimiento están separadas a lo largo de los bordes y en las intersecciones de los cortes. El área afectada es del 5 al 15% de la celosía.
- 2B El recubrimiento tiene escamas a lo largo de los bordes y en partes de los cuadrados. El área afectada es del 15 al 35% de la celosía.
- 1B El recubrimiento ha escamas a lo largo de los bordes de los cortes en grandes cintas y se han desprendido cuadrados enteros. El área afectada es de 35 a 65% de la red.
- 0B Descamación y desprendimiento peores al Grado 1.

12.10. Repita la prueba en otros dos lugares en cada panel de prueba.

### 13. Informe

13.1. Informe el número de pruebas, su media y rango, y para los sistemas de revestimiento, donde se produjo el error, es decir, entre la primera capa y el sustrato, entre la primera y la segunda mano, etc.

13.2. Informe el sustrato empleado, el tipo de recubrimiento y el método de cura.

13.3. Si la fuerza de adhesión se ha determinado de acuerdo con ASTM D 3330 Métodos de 1000 o D, informar de los resultados con la calificación (s) de adhesión. Si no se ha determinado la fuerza de adhesión de la cinta, la cinta reportar específico usado y su fabricante.

13.4. Si la prueba se realiza después de la inmersión, las condiciones de inmersión de informes y el método de preparación de la muestra.

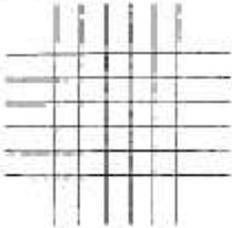
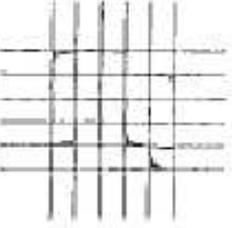
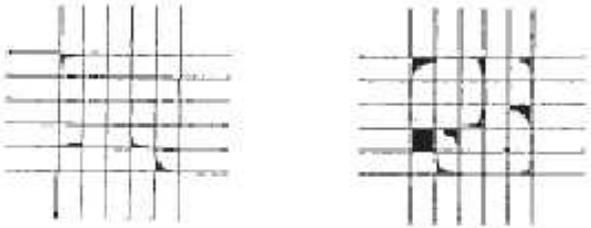
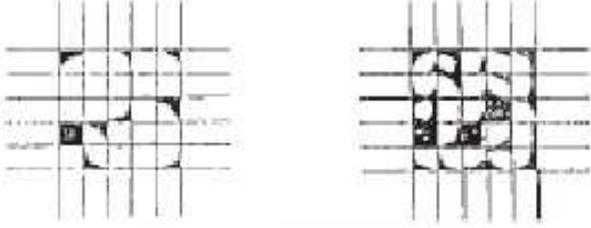
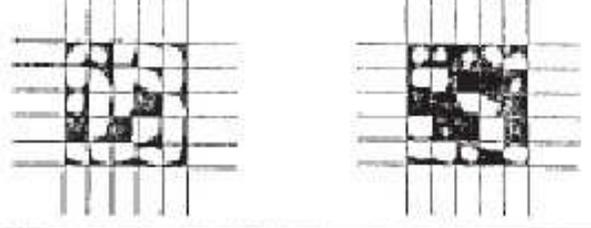
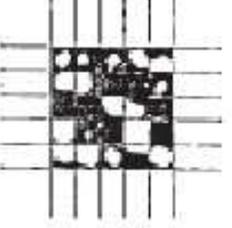
### 14. Precisión y Tendencia

14.1. Sobre la base de dos pruebas entre laboratorios de este método de ensayo en una de las cuales los operadores en seis laboratorios realizan una medición de la adherencia en tres paneles cada uno de tres capas que cubren una amplia gama

de adhesión y en los otros operadores en seis laboratorios hicieron tres mediciones en dos paneles cada uno de los cuatro diferentes recubrimientos aplicados sobre otros dos revestimientos, se encontró que las desviaciones estándar combinadas para intra-entre laboratorios ser 0,37 y 0,7. Sobre la base de estas desviaciones estándar, los siguientes criterios deben utilizarse para juzgar la aceptabilidad de los resultados a nivel de confianza del 95%:

14.1.1. Adherencia repetibilidad-Siempre es uniforme sobre una gran superficie, los resultados obtenidos por el mismo operador, se deberían considerar sospechosos si difieren en más de una unidad de calificación para dos mediciones.

HIGO. 1 Clasificación de Resultados de ensayo de adhesión

CLASSIFICATION OF ADHESION TEST RESULTS		
CLASSIFICATION	PERCENT AREA REMOVED	SURFACE OF CROSS-CUT AREA FROM WHICH FLAKING HAS OCCURRED FOR SIX PARALLEL CUTS AND ADHESION RANGE BY PERCENT
5B	0% None	
4B	Less than 5%	
3B	5 - 15%	
2B	15 - 35%	
1B	35 - 65%	
0B	Greater than 65%	

14.1.2. Reproducibilidad Dos resultados, cada uno la media de los duplicados o triplicados, obtenidos por diferentes operadores deben considerarse sospechosos si difieren en más de dos unidades de calificación.

14.2. Bias no se puede establecer para estos métodos de ensayo.

15. Palabras clave

15.1. adhesión; método de ensayo de adhesión de corte transversal; cinta; método de ensayo de adhesión de cinta; método de prueba de adhesión X-cortar

## X1. COMENTARIO

### X1.1 Introducción

X1.1.1 Dada la complejidad del proceso de adhesión, la adhesión puede ser medida? Como Mittal (1) ha señalado, la respuesta es sí y no. Es razonable afirmar que en la actualidad no existe ninguna prueba de que se puede evaluar con precisión la fuerza física real de una unión adhesiva. Pero también se puede decir que es posible obtener una indicación del rendimiento de adhesión relativa.

X1.1.2 métodos de ensayo de adhesión prácticos son generalmente de dos tipos: "implícita" y "directa" "implícito" pruebas incluyen técnicas de indentación o escriba, frote la prueba, y la prueba de desgaste. La crítica de estas pruebas surge cuando se utilizan para cuantificar la fuerza de la unión adhesiva. Pero esto, de hecho, no es su propósito. Una prueba "implícita" se debe utilizar para evaluar el comportamiento del revestimiento en condiciones reales de servicio. mediciones "directas", por el contrario, están expresamente destinadas a medir la adherencia. pruebas significativas de este tipo son muy codiciados, principalmente debido a que los resultados se expresan por una sola cantidad discreta, la fuerza necesaria para romper el enlace de recubrimiento / sustrato en las condiciones prescritas. ensayos directos incluyen la Hesiometer y la Adherometer (2). Los métodos más comunes que se aproximan a las pruebas directas son pruebas de la cáscara, lapshear, y de tracción.

### Métodos de ensayo X1.2

X1.2.1 En la práctica, numerosos tipos de pruebas se han utilizado para intentar evaluar la adhesión mediante la inducción de ruptura del enlace por diferentes modos. Los criterios considerados esenciales para una prueba para justificar la aceptación a gran escala son: el uso de un procedimiento sencillo y sin ambigüedades; relevancia para su aplicación prevista; repetibilidad y reproducibilidad; y cuantificable, incluyendo una escala de valoración significativos para valorar el rendimiento.

X1.2.2 Los métodos de ensayo utilizados para recubrimientos sobre metales son: adherencia al pelado o "prueba de cinta;" Gardner evaluación de la flexibilidad de impacto; y las pruebas unión adhesiva incluida la cizalla (junta de solape) y la tracción directa de pruebas (junta a tope). Estas pruebas no cumplan estrictamente todos los criterios enumerados, sino un aspecto atractivo de estas pruebas es que en la mayoría de los casos el equipo / instrumentación es fácilmente disponible o se puede obtener a un costo razonable.

X1.2.3 Una amplia diversidad de métodos de pruebas se han desarrollado a lo largo de los años que miden aspectos de la adhesión (1-5). En general, hay dificultad, sin embargo, en estas pruebas relativos a los fenómenos básicos de adhesión.

### X1.3 La prueba con cinta

X1.3.1 Con mucho, la prueba más frecuente para la evaluación de "adherencia" recubrimiento es la prueba de la cinta-y-cáscara, que se ha utilizado desde la década de 1930. En su versión más simple se pulsa un trozo de cinta adhesiva contra la película de pintura y la resistencia a y el grado de eliminación de película observado cuando la cinta se retira. Puesto que una película intacta con la adhesión apreciable con frecuencia no se elimina del todo, la gravedad de la prueba generalmente se ve reforzada por el corte en la película una figura X o un patrón de rayado cruzado, antes de aplicar y quitar la cinta. La adhesión es entonces una clasificación mediante la comparación eliminado en contra de una escala de valoración establecida película. Si una película intacta se despega limpiamente por la cinta, o si debonds simplemente cortando en ella sin aplicar la cinta, a continuación, la adhesión tiene simplemente como mala o muy mala,

X1.3.2 La versión actual ampliamente utilizado fue publicado por primera vez en 1974; dos métodos de ensayo se cubren en esta norma. Ambos métodos de ensayo se utilizan para establecer si la adhesión de un revestimiento a un sustrato es a un nivel adecuado; sin embargo, no distinguen entre los niveles más altos de adhesión para los que se requieren métodos más sofisticados de medición. Las principales limitaciones de la prueba de la cinta son su baja sensibilidad, aplicabilidad sólo para recubrimientos de fuerzas de unión relativamente bajas, y no determinación de la adhesión al sustrato, donde se produce un fallo dentro de una sola capa, como cuando se prueba cebadores solo, o dentro de o entre las capas en lacados multicapa. Para los sistemas multicapa que se puede producir fallo de adhesión entre o dentro de las capas, la adhesión del sistema de revestimiento al sustrato no está determinada.

X1.3.3 Repetibilidad dentro de una unidad calificación se observa generalmente para revestimientos sobre metales para ambos métodos, con reproducibilidad de una a dos unidades. La prueba de la cinta goza de gran popularidad y es considerado como

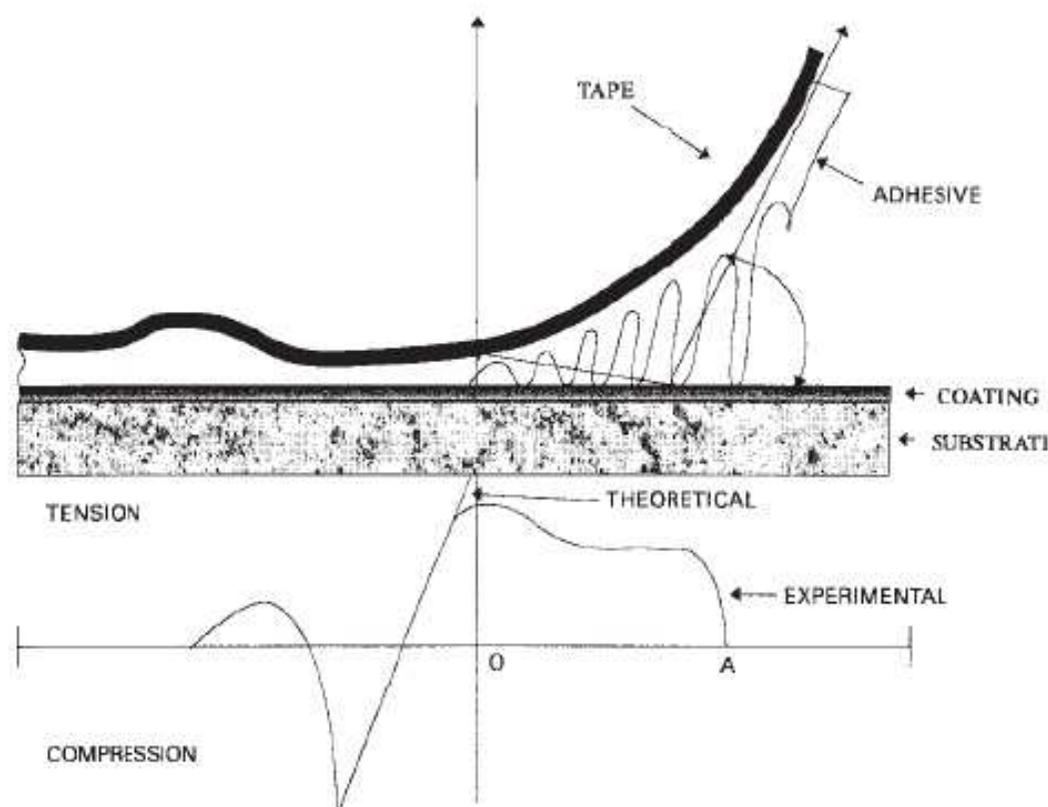
"simple", así como de bajo costo. Aplicado a los metales, es económico para llevar a cabo, se presta a la aplicación de sitio de trabajo, y lo más importante, después de décadas de uso, las personas se sienten cómodos con ella.

X1.3.4 Cuando se aplica una cinta adhesiva flexible a una superficie de sustrato rígido recubierto y luego se retira, el proceso de eliminación se ha descrito en términos de la "cáscara fenómeno", como se ilustra en la Fig. X1.1.

X1.3.5 Peeling comienza en el borde "dentado" líder (a la derecha) y procede a lo largo de la capa de adhesivo / interfaz o la interfaz de revestimiento / sustrato, dependiendo de las fuerzas de unión relativas. Se supone que el recubrimiento de la eliminación se produce cuando la fuerza de tracción generada a lo largo de la última interfaz, que es una función de las propiedades reológicas del soporte y el adhesivo materiales de la capa, es mayor que la resistencia de la unión en la interfaz de revestimiento de sustrato (o la fuerza cohesiva de el recubrimiento). En la actualidad, sin embargo, esta fuerza se distribuye sobre una distancia discreta (OA) en la Fig. X1.1, que se relaciona directamente con las propiedades descritas, no se concentra en un punto (O) en la Fig. X1.1 como en el caso, aunque la fuerza de tracción teórica es mayor en el origen para los dos. Una fuerza de compresión significativa surge de la respuesta del material soporte de la cinta para ser estirado. Así, tanto la tracción y fuerzas de compresión están involucrados en las pruebas de adherencia de cinta.

X1.3.6 Un análisis detallado de la prueba de la cinta con respecto a la naturaleza de la cinta empleada y ciertos aspectos del procedimiento en sí revelan varios factores, cada uno o cualquier combinación de los cuales pueden afectar dramáticamente los resultados de la prueba como se describe (6).

HIGO. X1.1 Peel perfil (6)



#### X1.4 Peel Ensayo de adhesión sobre sustratos plásticos

X1.4.1 test de cinta adhesiva han sido criticados cuando se utiliza para sustratos que no sean de metal, tales como plásticos. Los temas centrales son la prueba de que el plástico carece de reproducibilidad y no se relaciona con la aplicación deseada. Ambas preocupaciones están bien fundadas: mala precisión es un resultado directo de varios factores intrínsecos a los materiales utilizados y el procedimiento en sí. Más importante, en este caso se está aplicando la prueba más allá de su alcance pretendido. Estos métodos de ensayo fueron diseñados para revestimientos relativamente dúctiles aplicados a sustratos metálicos, no de los revestimientos (a menudo frágiles) aplicados a las piezas de plástico (7). Los requisitos funcionales únicas de recubrimientos sobre sustratos de plástico hacen que las pruebas habituales de cinta no son satisfactorias para medir el rendimiento de adhesión en la práctica.

#### X1.5 La polémica cinta

X1.5.1 Con la retirada del comercio de la cinta originalmente especificado, 3M N° 710, los métodos de prueba actuales ya no se identifican una cinta específica. Las diferencias en las cintas utilizadas pueden dar lugar a diferentes resultados como pequeños cambios en la rigidez de soporte y el adhesivo reología causan grandes cambios en el área de la tensión. Algunas cintas comerciales son fabricados para cumplir con los estándares mínimos. Una gran cantidad suministrada podría superar

estas normas y por lo tanto ser adecuado para la distribución general del mercado; sin embargo, una gran cantidad de este tipo puede ser una fuente de error grave e inesperado en la evaluación de la adherencia. Un kit de prueba de la cinta disponible en el mercado había incluido una cinta con variaciones fuerza de adhesión de hasta un 50% reivindicadas por el fabricante. Además, debido a las cintas cambian en el almacenamiento, la fuerza de adhesión de la cinta puede cambiar con el tiempo (7, 8).

X1.5.2 Si bien hay cintas disponibles que aparecen para ofrecer un rendimiento consistente, dada una cinta no se adhiere igualmente bien a todos los revestimientos. Por ejemplo, cuando la fuerza de retirada la cáscara de la cinta (desde el recubrimiento) utilizado anteriormente por el Grupo de Grupo D01.23.10 para establecer la precisión del método, por 3M No. 710 se examinó con siete interferencias electromagnéticas de frecuencias perturbadoras / radio diferente (EMI / RFI) revestimientos, se encontró que, mientras que la cáscara era de hecho consistente para un revestimiento dado, el valor variado en un 25% entre las calificaciones más altas y más bajas entre los revestimientos. Varios factores que contribuyen a estas diferencias incluyen composición de recubrimiento y de la topología: como resultado, no sola cinta es probable que sea adecuado para probar todos los recubrimientos. Además, la prueba de la cinta no da un valor absoluto para la fuerza requerida para la ruptura del enlace,

#### Los problemas de procedimiento X1.6

X1.6.1 La prueba de la cinta es el operador intensivo. Por diseño se hizo tan simple como sea posible para llevar a cabo, y requiere un mínimo de equipo y materiales especializados que deben cumplir con ciertas especificaciones. La exactitud y precisión dependen en gran medida de la habilidad del operador y la capacidad del operador para realizar la prueba de una manera consistente. Los pasos clave que reflejan directamente la importancia de la habilidad del operador incluyen el ángulo y la velocidad de eliminación de la cinta y la evaluación visual de la muestra analizada. No es inesperado que diferentes operadores pueden obtener resultados diferentes (7, 8).

#### X1.6.2 Ángulo de despegue y Tasa:

La norma requiere que el extremo libre de la cinta se elimina rápidamente a lo más cercano a un ángulo de 180 ° como sea posible. Si el ángulo de arranque y la velocidad varían, la fuerza requerida para retirar la cinta puede cambiar dramáticamente. Casi se observaron aumentos lineales en fuerza de pelado cercana al 100% como ángulo de despegue fue cambiado 135-180, y las diferencias grandes similares se pueden esperar en fuerza de pelado como velocidad de despegado varía. Estos efectos están relacionados, ya que reflejan ciertas propiedades reológicas del respaldo y el adhesivo que son molecular de origen. La variación en la tasa de extracción y ángulo de arranque puede efectuar grandes diferencias en los valores de la prueba y debe ser reducido al mínimo para asegurar la reproducibilidad (9).

#### X1.6.3 Evaluación visual:

El paso final en el ensayo es la evaluación visual del revestimiento eliminado de la muestra, que es subjetiva en la naturaleza, de modo que los recubrimientos pueden variar entre los individuos que evalúan la misma muestra (9).

X1.6.3.1 El rendimiento en la prueba de la cinta se basa en la cantidad de recubrimiento quitado en comparación con una escala descriptiva. La exposición del sustrato puede ser debido a factores distintos adherencia del recubrimiento bronceado, incluyendo el que surge de la exigencia de que se corte el revestimiento (de ahí el sinónimo "prueba de adhesión de trama cruzada"). Justificación de la etapa de corte es razonable como el corte proporciona un borde libre de la que peeling puede empezar sin tener que superar la fuerza de cohesión de la capa de revestimiento.

X1.6.3.2 El corte puede ser adecuado para los recubrimientos aplicados a sustratos de metal, pero para los recubrimientos aplicados a los plásticos o de madera, el proceso puede dar lugar a una indicación errónea de por adherencia debido a la zona interfacial único. Para recubrimientos sobre sustratos blandos, los problemas incluyen la profundidad debe penetrar en este corte, ¿y es posible cortar sólo a la interfaz?

X1.6.3.3 En general, si los paneles de prueba de adhesión se examinan al microscopio, a menudo es claramente evidente que los resultados de eliminación de revestimiento de fallo del sustrato en o por debajo de la interfaz, y no desde el fallo adhesivo entre el recubrimiento y el sustrato. También se observa con frecuencia un fallo de cohesión dentro de la película de revestimiento. Sin embargo, con la prueba de la cinta, los fallos dentro de las capas de sustrato o recubrimiento son raros porque la cinta adhesiva no es generalmente lo suficientemente fuerte como para superar las fuerzas cohesivas de sustratos normales y recubrimientos orgánicos. Aunque algunos revestimientos en lugar frágiles pueden presentar fallos de cohesión, el método de adhesión prueba de la cinta no hace provisión para dar localidad fracaso (7, 8).

X1.6.4 El uso del método de ensayo en el campo puede conducir a la variación en los resultados de la prueba debido a los cambios de temperatura y humedad y su efecto sobre la cinta, el recubrimiento y el sustrato.

#### Conclusión X1.7

X1.7.1 Todos los problemas a un lado, si se utilizan estos métodos de ensayo dentro de la sección de alcance y se llevan a cabo con cuidado, una cierta penetración en el nivel aproximado, relativo de adherencia se pueden obtener.

#### Referencias

- (1) Mittal, KL, "Adhesión de medida: Avances recientes, problemas sin resolver, y perspectivas", "Medición de Adhesión Thin Films, películas gruesas, y recubrimientos a granel", ASTM STP 640, ASTM, 1978, pp 7-8.
- (2) Corcoran, EM, "Adhesión", Capítulo 5.3, pruebas de pintura Manual, 13ª ed., ASTM STP 500, ASTM, 1972, pp. 314-332.
- (3) Manual de Pruebas de Gardner, HA, y Sward, GG, de pintura, 12 ed., Capítulo 7, Gardner Laboratory, Bethesda, MD, 1962, pp. 159-170.
- (4) Mittal, KL, Diario de Adhesión Ciencia y Tecnología, Vol 1, N° 3, 1987, pp. 247-259.
- (5) Stoffer, JO, y Gadodia, SK, American Paint y Coatings Journal, Vol 70, Nos. 50 y 51, 1991, pp. 36-40 y 36-51, respectivamente.
- (6) Souheng, Wu, Polymer Interface y adhesión, Marcel Dekker, Inc., Nueva York, NY, 1982, p. 531.
- (7) Nelson, GL, Gray, KN, y Buckley, SE, Paint Modern y Coatings, Vol 75, No. 10, 1985, pp. 160-172.
- (8) Nelson, GL, y Gray, KN, "Revestimiento de adhesión a los plásticos", Actas, a base de agua y mayor contenido de sólidos Simposio Coatings, Vol 13, New Orleans, LA, 5-7 de febrero de 1986 pp. 114-131.
- (9) KL Mittal, ed., "Simposio sobre los Aspectos de adhesión de recubrimientos poliméricos," Proceedings, de la Sociedad Electroquímica, 1981, pp. 569-582.

#### RESUMEN DE CAMBIOS

Comité D01 ha identificado la ubicación de cambios seleccionados para esta especificación desde la última publicación (D de 3359 - 97) que pueden impactar en la utilización de esta norma.

- (1) Suprimida referencia a la norma ASTM D 2197 en la sección de documentos de referencia y editorialmente cambiado la nota 10 para evitar la confusión con otro método de prueba de adhesión.
- (2) Añadido 7.1.1, 8.5, 12.1.1 y 13.4 para aclarar su uso cuando se analizan muestras que han sido sumergidos.

ASTM International no toma posición respecto a la validez de los derechos de patente declarados en relación con cualquiera de los artículos mencionados en esta norma. Los usuarios de esta norma se les advierte expresamente que la determinación de la validez de cualesquiera derechos de patente, y el riesgo de lesión de sus derechos, son enteramente su propia responsabilidad.

Esta norma está sujeta a revisión en cualquier momento por el comité técnico responsable y debe ser revisado cada cinco años y si no es revisado, ya sea aprobado de nuevo o se retira. Sus comentarios son invitados para la revisión de esta norma o para normas adicionales, deberán dirigirse a las oficinas de ASTM International. Sus comentarios recibirán una cuidadosa consideración en una reunión del comité técnico responsable, que usted puede asistir. Si usted siente que sus comentarios no han recibido una feria de la audición, puede presentar sus puntos de vista al Comité de Normas de la ASTM, en la dirección que se muestra a continuación.

Esta norma ha sido propiedad de ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, Estados Unidos. reimpressiones (copias únicas o múltiples) de esta norma se pueden obtener poniéndose en contacto con la ASTM en la dirección anterior o al 610-832-9585 (teléfono), 610-832-9555 (fax), o [service@astm.org](mailto:service@astm.org) (e- correo); oa través de la página web de la ASTM ([www.astm.org](http://www.astm.org)).

1998-09-23

---

**PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO EN CÁMARA  
SALINA**



E: PRACTICE FOR OPERATING SALT SPRAY (FOG)  
APPARATUS

---

CORRESPONDENCIA: esta norma es una adopción equivalente  
(EQV) de la ASTM B 117-95

---

DESCRIPTORES: revestimiento metálico; revestimiento;  
ensayo; ensayo en cámara salina.

---

I.C.S.: 87.040.00

---

Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)  
Apartado 14237 Bogotá, D.C. - Tel. 6078888 - Fax 2221435

---

## PRÓLOGO

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, **ICONTEC**, es el organismo nacional de normalización, según el Decreto 2269 de 1993.

**ICONTEC** es una entidad de carácter privado, sin ánimo de lucro, cuya Misión es fundamental para brindar soporte y desarrollo al productor y protección al consumidor. Colabora con el sector gubernamental y apoya al sector privado del país, para lograr ventajas competitivas en los mercados interno y externo.

La representación de todos los sectores involucrados en el proceso de Normalización Técnica está garantizada por los Comités Técnicos y el período de Consulta Pública, este último caracterizado por la participación del público en general.

La NTC 1156 (Segunda actualización) fue ratificada por el Consejo Directivo de 1998-09-23.

Esta norma está sujeta a ser actualizada permanentemente con el objeto de que responda en todo momento a las necesidades y exigencias actuales.

A continuación se relacionan las empresas que colaboraron en el estudio de esta norma a través de su participación en Consulta Pública, que pertenece al Comité Técnico 352101 "Pinturas y productos afines".

ANDERCOL	EDUARDO LONDOÑO Y SUCESORES
B.P. EXPLORATION	EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN
BASF QUÍMICA	ICO PINTURAS
BAYER	INDUSTRIAS PERMAPINT
CARBOQUÍMICA	ISAGEN
CENTRAL DE DISOLVENTES	PREFLEX
COMPAÑÍA PINTUCO	PYASA COLOMBIANA
CORPORACIÓN PARA LA	SIKA ANDINA
INVESTIGACIÓN DE LA CORROSIÓN	UNIVERSIDAD DEL VALLE

**ICONTEC** cuenta con un Centro de Información que pone a disposición de los interesados normas internacionales, regionales y nacionales.

**DIRECCIÓN DE NORMALIZACIÓN**

## **PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO EN CÁMARA SALINA**

### **1.    OBJETO**

Esta norma describe el aparato, el procedimiento y las condiciones requeridas para crear y mantener el ambiente del ensayo en la cámara salina. En el Apéndice X1 se describe el aparato que se puede utilizar. Esta práctica no prescribe el tipo de muestra de ensayo o periodos de exposición que se deben utilizar para un producto específico ni la interpretación que se debe dar a los resultados.

Los valores establecidos en unidades SI se deben considerar como norma. Las unidades pulgada-libra entre paréntesis se dan para información y pueden ser aproximadas.

Esta norma no pretende considerar todos los aspectos relacionados con la seguridad, si los hay, asociados con el uso de la norma. El usuario de la misma es responsable de establecer procedimientos apropiados de seguridad y salud, y de determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de usarla.

### **2.    NORMAS QUE SE DEBEN CONSULTAR**

Las siguientes normas contienen disposiciones que, mediante la referencia dentro de este texto, constituyen disposiciones de esta norma. En el momento de su publicación eran válidas las ediciones indicadas. Todas las normas están sujetas a actualización; los participantes, mediante acuerdos basados en esta norma, deben investigar la posibilidad de aplicar la última versión de las normas mencionadas a continuación.

#### **2.1    NORMAS ASTM**

ASTM B 368 Method for Copper-Accelerated Acetic-Salt Spray (Fog) Testing (CASS Test).

ASTM D 609 Practice for Preparation of Cold Rolled Steel Panels for Testing Paint, Varnish, Conversion Coatings, and Related Coating Products.

ASTM D 1193 Specification for Reagent Water.

ASTM D 1654 Test Method for Evaluation of Coated or Painted Specimens Subjected to Corrosive Environments.

ASTM E 70 Test Method for pH of Aqueous Solutions With the Glass Electrode.

ASTM E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method.

ASTM G 85 Practice for Modified Salt Spray (Fog) Testing

### **3.    IMPORTANCIA Y USO**

**3.1**    Esta norma ofrece un ambiente corrosivo controlado que ha sido utilizado para producir información relativa de resistencia a la corrosión, para muestras de metales y metales revestidos expuestos a cualquier cámara particular de prueba.

**3.2**    La correlación y la extrapolación del rendimiento de la corrosión basado en la exposición al ambiente de prueba suministrado por esta práctica no son siempre predecibles. La correlación y la extrapolación se deben considerar solamente en casos en que se hayan realizado exposiciones atmosféricas a largo plazo.

**3.3**    La reproducibilidad de los resultados en la exposición a la niebla salina depende mucho del tipo de muestras ensayadas y de los criterios de evaluación escogidos, así como también del control de las variables operativas. En cualquier programa de ensayo se deben incluir suficientes repeticiones para establecer la variabilidad de los resultados. Se ha observado variabilidad cuando se someten a ensayo muestras similares en diferentes cámaras de niebla aun cuando las condiciones de ensayo sean nominalmente similares y dentro de rangos determinados en esta práctica.

### **4.    APARATOS**

**4.1**    Los aparatos requeridos para exposición a niebla salina consisten en una cámara, un depósito de solución salina, una provisión de aire comprimido convenientemente acondicionado, una o más boquillas para atomización, soportes para la muestra, dispositivos para calentar la cámara y medios necesarios de control. El tamaño y construcción detallada del aparato son opcionales, siempre que las condiciones obtenidas cumplan los requisitos de esta norma.

**4.2**    No se debe permitir que las gotas de solución que se acumulen en el cielo raso o cubierta de la cámara caigan sobre las muestras que se están exponiendo.

**4.3**    Las gotas de solución que caigan de las muestras no deben regresar al depósito de la solución para nuevo rocío.

**4.4**    El material de construcción debe ser de tal naturaleza que no afecte la corrosividad de la niebla.

**4.5**    Toda el agua utilizada para este procedimiento debe ser conforme con el agua Tipo IV de la norma ASTM D 1193 (excepto que para esta norma se pueden pasar por alto los límites para cloruros y sodio). Esto no se aplica al agua corriente de grifo. Todas las demás aguas se considerarán como de grado reactivo.

## **5.    MUESTRAS DE ENSAYO**

**5.1**    El tipo y número de muestras de ensayo que se van a utilizar así como también los criterios para la evaluación de los resultados del ensayo, se deben definir en las normas que cubran el material o el producto que se está exponiendo o se deben convenir mutuamente entre el comprador y el vendedor.

## **6.    PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO**

**6.1**    Las muestras se deben limpiar convenientemente. El método de limpieza será opcional dependiendo de la naturaleza de la superficie y de los contaminantes. Se debe tener cuidado para que las muestras no se contaminen de nuevo después de la limpieza, por manejo excesivo o descuidado.

**6.2**    Las muestras para evaluación de pinturas y otros revestimientos orgánicos se deben preparar de acuerdo con normas aplicables para los materiales que se estén exponiendo o como se haya convenido entre el comprador y el proveedor. De otra manera, las muestras de ensayo serán de acero que cumpla con los requisitos de la norma ASTM D 609 y se limpiarán y prepararán para revestimiento según el procedimiento aplicable de la norma ASTM D 609.

**6.3**    Las muestras cubiertas con pinturas o revestimientos no metálicos no se deben limpiar o manejar excesivamente antes del ensayo.

**6.4**    Cada vez que se desee determinar el desarrollo de corrosión en un área escoriada en la pintura o el revestimiento orgánico, se debe hacer una raya a través del revestimiento con un instrumento cortante, de modo que quede expuesto el metal subyacente antes de hacer el ensayo. Las condiciones para hacer la raya deben ser como se define en la norma ASTM D 1654, salvo que se convenga de otro modo entre el comprador y el vendedor.

**6.5**    Salvo que se determine de otra manera, los bordes cortados de los materiales enchapados, revestidos o dúplex y las áreas que contengan marcas de identificación o estén en contacto con bastidores o soportes, se deberán proteger con un revestimiento adecuado estable bajo las condiciones del procedimiento.

Nota 1. En caso de que sea deseable cortar las muestras de ensayo de partes o de hojas de acero preenchapadas, pintadas o revestidas de alguna otra manera, los bordes cortados se deben proteger cubriéndolos con pintura, cera, cinta o algún otro medio efectivo, de modo que se evite el desarrollo de un efecto galvánico entre esos bordes y las superficies adyacentes enchapadas o revestidas de alguna otra manera.

## **7.    POSICIÓN DE LAS MUESTRAS DURANTE LA EXPOSICIÓN**

**7.1**    La posición de las muestras en la cámara de niebla salina durante el ensayo, será de tal manera que se satisfagan las siguientes condiciones:

**7.1.1**    A menos que se determine de otra manera, las muestras se sostendrán o colgarán entre 15° y 30° desde el plano vertical y preferiblemente paralelas a la dirección principal del flujo de niebla a través de la cámara, apoyadas en la superficie predominante que se esté ensayando.

**7.1.2**    Las muestras no deben hacer contacto entre sí o con algún otro material metálico o algún material capaz de actuar como una mecha.

**7.1.3** Cada muestra se colocará de manera que permita un asentamiento libre de la niebla sobre todas las muestras.

**7.1.4** La solución salina de una muestra no debe gotear sobre cualquier otra muestra.

Nota 2. Los materiales adecuados para la construcción o revestimiento de bastidores y soportes son el vidrio, el caucho, el plástico o madera convenientemente revestida. No se debe utilizar metal pelado. Las muestras se deben sostener preferiblemente desde la parte inferior o el lado. Las tiras de madera acanaladas son adecuadas para el soporte de paneles planos. Se puede recurrir a suspensión desde ganchos de vidrio o cuerda encerada, siempre que se obtenga la posición determinada de las muestras, si es necesario por medio de soporte secundario en la parte inferior de las mismas.

## **8. SOLUCIÓN SALINA**

**8.1** La solución salina se debe preparar disolviendo  $5 \pm 1$  partes por masa de cloruro de sodio en 95 partes de agua conforme con el agua de Tipo IV en la norma ASTM D 1193, (excepto que para este procedimiento se pueden pasar por alto los límites para cloruros y sodio). La sal utilizada debe ser cloruro de sodio sustancialmente libre de níquel y cobre y que contenga en la base seca no más de 0,1 % de yoduro de sodio y no más de 0,3 % de impurezas totales. Algunas sales contienen aditivos que pueden actuar como inhibidores de corrosión; se debe prestar mucha atención al contenido químico de la sal. Mediante convenio entre el comprador y el vendedor, se puede necesitar un análisis y establecer límites para elementos o componentes no especificados en la composición química dada antes.

**8.2** El pH de la solución salina será tal que cuando se atomice a 35 °C (95 °F) la solución acumulada debe estar en el rango de pH de 6,5 a 7,2 (Nota 3). Antes que la solución se atomice debe estar libre de sólidos suspendidos (Nota 4). La medida del pH se hará a 25 °C (77 °F) utilizando un electrodo de vidrio sensible al pH, un electrodo de referencia y un sistema de medida del pH según la norma ASTM E 70.

Nota 3. La temperatura afecta el pH de una solución salina preparada con agua saturada con bióxido de carbón a temperatura ambiente y el ajuste del pH se puede hacer mediante los tres métodos siguientes:

- 1) Cuando el pH de una solución salina se ajuste a temperatura ambiente y se atomice a 35 °C (95 °F), el pH de la solución acumulada será más alto que la solución original debido a la pérdida de bióxido de carbono a temperatura más alta. Cuando el pH de la solución salina se ajuste a temperatura ambiente, es necesario ajustarlo por debajo de 6,5 de modo que la solución acumulada después de la atomización a 35 °C (95 °F) encuentre los límites de pH de 6,5 a 7,2. Se toma una muestra aproximada de 50 mL de la solución salina preparada a temperatura ambiente, se hierva suavemente durante 30 s, se enfría y se determina el pH. Cuando el pH de la solución salina se ajuste a 6,5 a 7,2 por este procedimiento, el pH de la solución atomizada y acumulada a 35 °C (95 °F) llegará dentro de este rango.
- 2) Calentando la solución salina hasta que hierva y se enfríe a 35 °C (95 °F) y manteniéndola a 35 °C (95 °F) durante unas 48 h antes de ajustar el pH, se produce una solución cuyo pH no cambia sustancialmente cuando se atomiza a 35 °C (95 °F).
- 3) Calentando el agua con la cual se prepara la solución salina a 35 °C (95 °F) o por encima, para expeler bióxido de carbono, y ajustando el pH de la solución salina dentro de los límites de 6,5 a 7,2, se produce una solución cuyo pH no cambia sustancialmente cuando se atomiza a 35 °C (95 °F).

Nota 4. La solución salina recientemente preparada se puede filtrar o decantar antes de colocarla en el depósito, o el extremo del tubo que conduce de la solución al atomizador puede cubrirse con una capa doble de estopilla para evitar que se tapone la boquilla.

Nota 5. El pH se puede ajustar mediante adiciones de soluciones de ácido clorhídrico de grado reactivo ACS o hidróxido de sodio.

## **9. SUMINISTRO DE AIRE**

**9.1** El suministro de aire comprimido a la boquilla o boquillas para de atomizar la solución salina, debe estar libre de aceite y suciedad (Nota 6) y mantenerse entre 69 kPa/m<sup>2</sup> y 172 kPa/m<sup>2</sup> (10 psi y 25 psi).

Nota 6. El suministro de aire se puede liberar de aceite y suciedad pasándolo a través de un depurador de agua o al menos 610 mm (2 pies) de material adecuado de limpieza tal como lana de oveja, viruta de madera, lana mineral o alúmina activada<sup>8</sup>. También se pueden utilizar filtros comerciales de cartuchos que incluyen un indicador de expiración.

## **10. CONDICIONES EN LA CÁMARA DE NIEBLA SALINA**

### **10.1 TEMPERATURA**

La zona de exposición de la cámara de niebla salina se debe mantener a 35 + 1,1 - 1,7 °C (95 + 2 - 3 °F). La temperatura dentro de la zona de exposición de la cámara cerrada se debe registrar por lo menos dos veces al día mínimo con 7 h de diferencia (excepto los sábados, domingos y días de fiesta cuando la prueba de niebla salina no se interrumpe para exponer, rearreglar o quitar las muestras de ensayo o para verificar y llenar de nuevo la solución en el depósito).

Nota 7. Un método adecuado para registrar la temperatura es mediante un dispositivo de registro continuo o mediante un termómetro que se pueda leer desde afuera de la cámara cerrada. La temperatura registrada se debe obtener con la cámara de niebla salina cerrada para evitar una falsa lectura baja debido al efecto del bulbo húmedo cuando la cámara está abierta.

### **10.2 ATOMIZACIÓN Y CANTIDAD DE NIEBLA**

Dentro de la zona de exposición se deben colocar al menos dos colectores de niebla limpios, en tal forma que no se recoja ninguna gota de solución procedente de las muestras de ensayo o cualquier otra fuente. Los colectores se colocan en la proximidad de las muestras de ensayo, uno lo más cerca a una boquilla y el otro lo más lejos de todas las boquillas. La niebla será tal que para cada 80 cm<sup>2</sup> (12 pulgadas<sup>2</sup>) de área de recolección horizontal se recoja en cada colector de 1,0 a 2 mL de solución por hora con base en una sesión promedio de al menos 16 h. (Nota 8). La concentración de cloruro de sodio de la solución acumulada debe ser de 5 ± 1 masa % (Nota 9). El pH de la solución recogida será de 6,5 a 7,2. La medida del pH se debe hacer como se describe en 8.2 (Nota 3).

Notas.

- 8) Son dispositivos adecuados de recolección embudos de vidrio o plástico con los cuerpos insertados a través de obturadores en cilindros graduados o platos de cristalización. Los embudos y los platos con un diámetro de 10 cm (3,94 pulgadas) tienen un área de unos 80 cm<sup>2</sup> (12,4 pulgadas<sup>2</sup>).
- 9) Una solución que tenga una gravedad específica de 1,0255 a 1.0400 a 25 °C (77 °F) cumplirá el requisito de concentración. La concentración del cloruro de sodio también puede determinarse utilizando un medidor adecuado de salinidad (por ejemplo, utilizando un electrodo de vidrio selectivo de iones de sodio) o colorimétricamente como sigue. Se diluyen 5 mL de la solución recogida en mL con agua destilada y se mezcla completamente; se pipetea una alícuota de 10 mL en una bandeja o cacerola de evaporación; se

agregan 40 mL de agua destilada y 1 mL de solución de cromato de potasio al 1 % (sin cloruro) y se titula con 0,1 de solución de nitrato de plata N hasta la primera aparición de una coloración roja permanente. Una solución que requiera entre 3,4 mL y 5,1 mL de solución de nitrato de plata 0,1 N cumplirá los requisitos de concentración.

**10.3** La boquilla o boquillas se dirigirán o desviarán de tal manera que ninguna parte del rocío pueda chocar directamente contra las muestras de prueba.

## **11. CONTINUIDAD DE LA EXPOSICIÓN**

**11.1** Salvo que se determine de otra manera en las normas que cubren el material o producto que se esté ensayando, el ensayo será continuo mientras dure todo el período de ensayo. La operación continua quiere decir que la cámara esté cerrada y el rocío opere continuamente excepto para las cortas interrupciones diarias necesarias para inspeccionar, rearrreglar o quitar muestras de ensayo, para verificar y volver a llenar la solución en el depósito y para hacer los registros necesarios como se describe en la sección 10. Las operaciones se programarán de tal manera que estas interrupciones sean mínimas.

## **12. PERÍODO DE EXPOSICIÓN**

**12.1** El periodo de exposición será como lo indiquen las normas que se refieren al material o producto que se esté ensayando o como mutuamente se convenga entre el comprador y el vendedor.

Nota 10. Los períodos recomendados de exposición deben ser según lo convengan el comprador y el vendedor, pero se sugieren períodos de exposición múltiples de 24 h.

## **13. LIMPIEZA DE LAS MUESTRAS ENSAYADAS**

**13.1** A menos que se determine de otra manera en las normas que se refieren al material o producto que se esté ensayando, las muestras se deberán tratar como sigue al término de la prueba:

**13.1.1** Las muestras se deben quitar con cuidado.

**13.2** Las muestras se pueden lavar suavemente o sumergir en agua corriente limpia no más caliente de 38 °C (100 °F) para eliminar los depósitos de sal de su superficie y luego secar inmediatamente.

## **14. EVALUACIÓN DE RESULTADOS**

**14.1** Se debe hacer un examen cuidadoso e inmediato, según lo requieran las normas referentes al material o al producto que se esté ensayando o como se convenga entre el comprador y el vendedor.

**15.    REGISTROS E INFORMES**

**15.1**    Se debe registrar la siguiente información, salvo que se indique de otra manera en las normas referentes al material o producto que se esté ensayando:

**15.1.1** Tipo de sal y agua utilizadas para preparar la solución salina.

**15.1.2** Todas las lecturas de temperatura dentro de la zona de exposición de la cámara.

**15.1.3** Los registros diarios de los datos obtenidos de cada dispositivo de recolección de niebla que incluyan lo siguiente:

15.1.3.1 Volumen de solución salina recogida en milímetros por hora por 80 cm<sup>2</sup> (12,4 pulgadas<sup>2</sup>)

15.1.3.2 La concentración o gravedad específica a 35 °C (95 °F) de solución recogida, y

15.1.3.3 pH de la solución recogida.

**15.2**    Tipo de muestra y sus dimensiones o número o descripción de parte.

**15.3**    Método de limpieza de las muestras antes y después del ensayo.

**15.4**    Método de apoyo o suspensión del artículo en la cámara de niebla salina.

**15.5**    Descripción de protección utilizada según se exige en 6.5.

**15.6**    Periodo de exposición.

**15.7**    Interrupciones en la exposición, causa y período de tiempo, y

**15.    RESULTADOS DE TODAS LAS INSPECCIONES**

Nota 11. Si cualquier parte de solución salina atomizada que no haya tenido contacto con las muestras de ensayo se regresa al depósito, es aconsejable registrar la concentración o gravedad específica de esta solución también.

**Apéndices (Información no obligatoria)**

**X.1. CONSTRUCCIÓN DE APARATOS**

**X.1.1 Cámaras**

X.1.1.1 Varios proveedores suministran cámaras normales de niebla salina, pero se requieren algunos accesorios pertinentes para que funcionen de acuerdo con esta práctica, y ofrezcan control coherente para reproducción de resultados.

X.1.1.2 La cámara de niebla salina consta de la cámara básica, una torre saturadora de aire, un depósito de solución salina, boquillas atomizadoras, soportes de las muestras, provisiones para calentar la cámara y controles adecuados para mantener la temperatura deseada.

X.1.1.3 Accesorios tales como un baffle adecuado ajustable o una torre central de niebla, control automático de nivel para el depósito de sal y control automático de nivel para la torre saturadora de aire, son partes pertinentes del aparato.

X.1.1.4 El tamaño y la forma de la cámara serán de tal naturaleza que la atomización y cantidad de solución recogida estén dentro de los límites de esta norma.

X.1.1.5 La cámara debe hacerse de materiales convenientemente inertes tales como plástico, vidrio o piedra o construirse de metal y forrarse con plásticos impermeables, caucho o materiales de tipo epóxico o equivalentes.

X.1.1.6 Todas las tuberías que hagan contacto con la solución salina o el rocío deben ser de materiales inertes tales como plástico. La tubería de escape debe ser de suficiente tamaño, de modo que exista un mínimo de presión inversa y se debe instalar de tal manera que no quede atrapada ninguna solución. El extremo expuesto del tubo de desfogue se debe proteger contra corrientes extremas de aire que puedan causar fluctuación de presión o vacío en la cámara.

**X.1.2 Control de temperatura**

X.1.2.1 El mantenimiento de la temperatura dentro de la cámara de sal se puede hacer mediante varios métodos. Por lo general es deseable controlar la temperatura de los contornos de la cámara de niebla salina y mantenerla tan estable como sea posible. Esto se puede llevar a cabo colocando el aparato en un cuarto de temperatura constante, pero también se puede lograr rodeando la cámara básica con una envoltura que contenga agua o aire a una temperatura controlada.

X.1.2.2 El uso de calentadores de inmersión en un depósito interno de solución salina o de calentadores dentro de la cámara es perjudicial cuando las pérdidas de calor son apreciables, por la evaporación de la solución y calor radiante sobre las muestras.

**X.1.3 Boquillas de rocío**

X.1.3.1 Las boquillas satisfactorias pueden ser de caucho duro, plástico u otro material inerte. El tipo más comúnmente usado se hace de plástico. Se consiguen boquillas calibradas para consumo de aire y atomización de la solución. En la Tabla X.1.1 se dan las características operativas de una boquilla típica.

**Tabla X.1.1 Características operativas de la boquilla típica de rocío**

Altura del sifón cm	Flujo de aire, dm <sup>3</sup> /min				Consumo de solución, cm <sup>3</sup> /h			
	Presión de aire, kPa				Presión de aire, kPa			
	34	69	103	138	34	69	103	138
10	19	26,5	31,5	36	2 100	3840	4584	5256
20	19	26,5	31,5	36	636	2760	3720	4320
30	19	26,5	31,5	36	0	1380	3000	3710
40	19	26,5	31,5	36	0	780	2124	2804

Altura del sifón pulgada	Flujo de aire, L/min				Consumo de solución, mL/h			
	Presión de aire, psi				Presión de aire, psi			
	5	10	15	20	5	10	15	20
4	19	26,5	31,5	36	2 100	3840	4584	5256
8	19	26,5	31,5	36	636	2760	3720	4320
12	19	26,5	31,5	36	0	1380	3000	3710
16	19	26,5	31,5	36	0	780	2124	2804

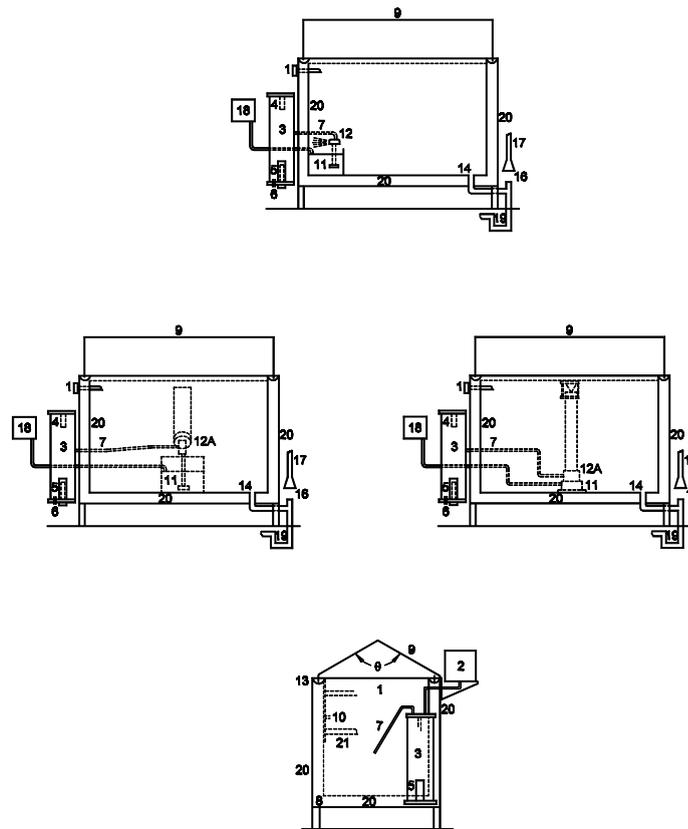
X.1.3.2 Fácilmente se puede ver que el consumo de aire es relativamente estable a las presiones normalmente utilizadas, pero se presenta una marcada reducción de la solución rociada si se permite que el nivel de la solución caiga apreciablemente durante el ensayo. De esta manera, el nivel de la solución en el depósito de sal tiene que mantenerse automáticamente para asegurar salida uniforme de niebla durante el ensayo.<sup>8</sup>

X.1.3.3 Si la boquilla seleccionada no atomiza la solución salina en gotitas uniformes, será necesario dirigir el rocío hacia el baffle o pared para recoger las gotas más grandes y evitar que choquen contra las muestras de ensayo. Como se necesita entender completamente los efectos de la presión de aire, es importante que la boquilla seleccionada produzca la condición conveniente cuando se opere a la presión de aire escogida. Las boquillas no necesariamente están localizadas en un extremo, pero se pueden colocar en el centro y también se pueden dirigir verticalmente hacia arriba a través de una torre adecuada.

#### **X.1.4 Aire para atomización**

X.1.4.1 El aire utilizado para atomización se debe liberar de grasa, aceite y suciedad antes de su uso, pasándolo a través de filtros bien mantenidos. El aire del cuarto se puede comprimir, calentar, humedecer y lavar en una bomba rotatoria de agua sellada, si la temperatura del agua se controla adecuadamente. De otro modo, se puede introducir aire limpio en la parte inferior de una torre llena de agua, a través de una piedra porosa o boquillas múltiples. El nivel del agua se debe mantener automáticamente para asegurar adecuada humidificación. Una cámara operada de acuerdo con este método y el Apéndice X.1 tendrá una humedad relativa entre 95 % y 98 %. Como las soluciones salinas del 2 % al 6 % van a dar los mismos resultados (aunque por uniformidad los límites se establecen en 4 % a 6 %), es preferible saturar el aire a temperaturas bien por encima de la temperatura de la cámara como seguro para una niebla húmeda. La Tabla X.1.2 muestra las temperaturas a diferentes presiones que se requieren para compensar el efecto refrigerador de la expansión a la presión atmosférica.

<sup>8</sup> Un dispositivo adecuado para mantener el nivel de líquido en la torre de saturación o en el depósito de la solución de ensayo puede ser diseñado por un grupo de ingeniería local, o se puede adquirir de fabricantes de cámaras de ensayo como un accesorio.

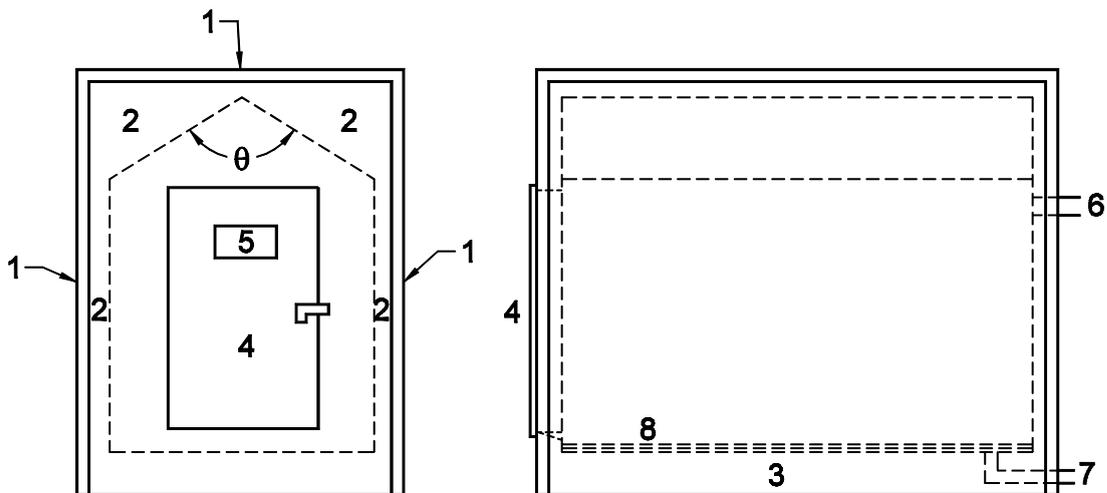


Nota 1. Ángulo de la tapa, 90 ° a 125 °

1. Termómetro y termostato para controlar el calentador (numeral No. 8) en base
2. Dispositivo automático de nivelación de agua
3. Torre de humedecimiento
4. Regulador automático de temperatura para control del calentador(numeral No.5)
5. Calentador de inmersión, inoxidable
6. Entrada de aire, aberturas múltiples
7. Tubo de aire para rociar la boquilla
8. Calentador en base
9. Parte superior girada, operada hidráulicamente o contrabalaceada
10. Puntales para varillas que soportan muestras o mesa de ensayo
11. Depósito interno
12. Boquilla de niebla encima del depósito, convenientemente diseñada, localizada e inclinada
- 12A. Boquilla colocada en torre de dispersión localizada preferiblemente en el centro de la cámara (ejemplos típicos)
13. Sello de agua
14. Drenaje y escape de combinación. El escape en el lado opuesto del espacio de ensayo desde la boquilla de niebla (numeral 12), pero preferiblemente en combinación con drenaje, trampa de evacuación y tubo de evacuación de corriente forzada (numerales 16.17 y 19).
16. Separación completa entre tubo de evacuación de corriente forzada (numeral 17) y drenaje y salida en combinación (numerales 14 y 19) para evitar succión inconveniente o presión inversa.
17. Tubo de evacuación de corriente forzada
18. Dispositivo automático de nivelación para depósito
19. Trampa de evacuación
20. Espacio de aire o envoltura de agua
21. Mesa de ensayo o repisa, bien abajo del área del techo.

Nota 2. Esta figura muestra los diferentes componentes que incluyen arreglos alternativos de las boquillas de niebla y el depósito de solución.

Figura X.1.1 Cámara típica de niebla salina



Nota. Los controles son los mismos, en general como para cámara más pequeña tipo laboratorio (Figura X.1.1), pero de tamaño adecuado para cubo más grande. La cámara tiene las siguientes características:

- θ. Ángulo del techo, 90 ° a 125 °
- 1. Paneles externos de aislamiento pesado
- 2. Espacio de aire
- 3. Calentadores de densidad de bajo watt, o espirales de vapor
- 4. Puerta sencilla o doble de operación completa (tipo refrigeración) con umbral de puerta con inclinación hacia adentro.
- 5. Ventana( s) de observación
- 6. Desfogue de la cámara interna
- 7. Drenaje de la cámara interna
- 8. Tableros de conductos sobre el piso

Figura X.1.2 Cámara con entrada, 1,5 m por 2,4 m (5 pies por 8 pies) y aún más en el tamaño total

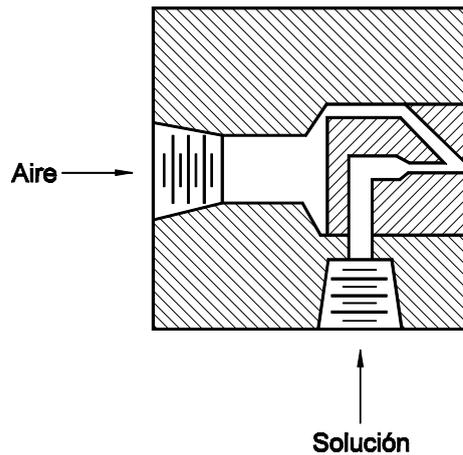
X.1.4.2 La experiencia ha demostrado que la mayor parte de las atmósferas uniformes de cámara de niebla se obtienen aumentando la temperatura del aire de atomización lo suficiente para compensar las pérdidas de calor, excepto aquellas que se pueden reemplazar de otra manera a gradientes de temperatura muy baja.

### X.1.5 Tipos de construcción

X.1.5.1 En la Figura X.1.1 se muestra una cámara de laboratorio moderno. Las cámaras con entrada se suelen construir con un cielo raso inclinado. Las boquillas de niebla convenientemente localizadas y dirigidas evitan acumulación y goteo del cielo raso. Las boquillas se pueden localizar en el cielo raso o a 0,91 m (3 pies) desde el piso dirigidas hacia arriba a 30 ° a 60 ° sobre el pasadizo. El número de boquillas depende del tipo y la capacidad y se relaciona con el área del espacio de ensayo. Se requiere un depósito de 11 L a 19 L (3 gal a 5 gal) dentro de la cámara, con el nivel controlado. En la Figura X.1.2 se muestran las principales características de una cámara de tipo con entrada, que se diferencia mucho de la de tipo laboratorio. En la Figura X.1.3 se ilustra la construcción de una boquilla de plástico, tal como es suministrada por varios fabricantes.

**Tabla X.1.2 Requisitos de temperatura y presión para operación de ensayo a 95 °**

		Presión del aire, KPa			
		83	96	110	124
<b>Temperatura, °C</b>		46	47	48	49
		Presión del aire, KPa			
		12	14	16	18
<b>Temperatura, °F</b>		114	117	119	121



**Figura X.1.3 Boquilla de niebla típica**

**X.2 USO DEL ENSAYO DE NIEBLA SALINA EN INVESTIGACIÓN**

**X.2.1** Este procedimiento se utiliza principalmente para calificación del proceso y aceptación de calidad. Con respecto a cualquier nueva aplicación es esencial correlacionar los resultados de esta práctica con resultados reales de la exposición de campo.

**X.2.2** La niebla salina se ha utilizado muy extensamente con el fin de comparar diferentes materiales o acabados. Se debe observar que por lo general no hay una relación directa entre resistencia a la niebla salina y resistencia a la corrosión en otros medios, porque la química de las reacciones, incluso la formación de películas y su valor de protección, con frecuencia varía mucho con las condiciones precisas encontradas. El personal informado está al tanto de la composición errática de las aleaciones básicas y del espesor de los elementos enchapados producidos en los mismos enrejados al mismo tiempo y la consiguiente necesidad de una determinación matemática del número de muestras requeridas para constituir una muestra adecuada con fines de ensayo. A este respecto, conviene señalar que esta norma no se puede aplicar al estudio o ensayo de placas decorativas de cromo (cromo niquelado) sobre acero o sobre vaciados de troquel con base de cinc o de placa de cadmio sobre acero. Para este propósito existen el Método B 368 y la Práctica G 85, las cuales también son consideradas por algunos como superiores para comparación de aluminio químicamente tratado (cromado, fosfatado o anodizado), aunque no se han logrado conclusiones finales respecto a la validez de los resultados de los ensayos relacionados con experiencia del servicio. La Práctica B 117 y la Práctica G 85 se consideran como las más útiles para estimar el comportamiento relativo de materiales relacionados en atmósferas marinas, puesto que eso estimula las condiciones básicas con cierta aceleración debida a humedad o temperatura, o ambas cosas.

### **X.3    EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES CORROSIVAS**

#### **X.3.1    Generalidades**

Este apéndice se refiere a paneles de ensayo y procedimientos para evaluar las condiciones corrosivas dentro de una cámara de niebla salina. El procedimiento incluye la exposición de paneles de ensayo de acero y la determinación de sus pérdidas de masa en un periodo específico de tiempo. Esto se puede hacer mensualmente o con más frecuencia para asegurar operación uniforme con el tiempo. También es útil para correlacionar las condiciones corrosivas entre las diferentes cámaras.

#### **X.3.2    Paneles de ensayo**

Los paneles de ensayo requeridos, 76 x 127 por 0,8 mm (3,0 por 5,0 por 0,315 pulgadas), se hacen de acero al carbono laminado en frío de grado comercial SAE 1008 (UNS G10080).

#### **X.3.3    Preparación de paneles antes del ensayo**

Se limpian los paneles antes de ensayar desengrasando solamente, de modo que las superficies queden libres de mugre, aceite u otra materia extraña, que pueda influir en los resultados del ensayo. Después de limpiar, se pesa cada panel en una balanza analítica con aproximación a 1,0 mg y se registra el volumen.

#### **X.3.4    Posición de los paneles de ensayo**

Se coloca un mínimo de dos paneles pesados en la cámara, con los 127 mm (5,0 pulgadas) de largo apoyados a 30 ° de la vertical. Se colocan los paneles en la proximidad de los colectores condensados. (Véase la sección 6).

#### **X.3.5    Duración del ensayo**

Los paneles se deben exponer a la niebla salina durante 48 h a 168 h

#### **X.3.6    Limpieza de los paneles de ensayo después de la exposición**

Después de quitar los paneles de la cámara, se enjuaga cada uno inmediatamente con agua corriente del tubo para eliminar la sal y se enjuaga en agua de grado reactivo (véase la norma D 1193, Tipo IV). Se limpia químicamente cada panel durante 10 min a 20 °C a 25 °C en una solución fresca preparada como sigue:

Se mezclan 1000 L de ácido clorhídrico (gr. esp. 1,19) con 1000 mL de agua de grado reactivo (D 1193, Tipo IV) y se agregan 10 g de tetramina de hexametileno. Después de limpiar se enjuaga cada panel con agua reactiva (Tipo IV) y se seca (véase numeral 13.2).

#### **X.3.7    Determinación de pérdida de masa**

Inmediatamente después de secar, se determina la pérdida de masa volviendo a pesar y restando la masa del panel después de la exposición a su masa original.

X.3.7.1 Los datos generados en el estudio entre laboratorios usando este método se consiguen en ASTM como un informe de investigación<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> disponible en la sede de ASTM. Se puede solicitar RR No. G1-1003.

**X.3.8 Precisión y desviación**

Ensayo del panel de acero:

X.3.8.1 Un programa de ensayo entre laboratorios que usando tres conjuntos diferentes de paneles de acero UNS G10080, de 76 por 127 por 0,8 mm (3,0 por 5,0 por 0,315 pulgadas), ha demostrado que la repetibilidad de la pérdida de masa de los paneles de acero, es decir, la coherencia de los resultados de pérdida de masa que se puede esperar cuando se pasan paneles repetidos simultáneamente en una cámara de niebla salina, depende del tiempo de exposición y del lote o fuente de paneles. El programa entre laboratorios arrojó desviaciones normales de repetibilidad,  $S_r$ , de las cuales el 95 % de los límites de repetibilidad,  $r$ , se calcularon como sigue (véase la norma ASTM E 691):

$$r = 2,8 S_r$$

Los valores de  $S_r$  y  $r$  se informan en la Tabla X.3.1 Debemos observar que la tasa de corrosión del acero en este ambiente es aproximadamente constante sobre el intervalo de exposición y que la relación de la desviación estándar con la pérdida de masa promedio, el coeficiente de variación  $C_v$ , varía entre 5 % y 10 % con un promedio ponderado de 7,4 % y una  $r$  de  $\pm 21$  % de la pérdida de masa promedio.

**Tabla X.3.1 Estadígrafos de repetibilidad**

Materiales	Duración del ensayo, h	Pérdida de masa promedio, g	$S_r$ , g	$C_v$ , %	$r$ , g	No.
QP1	48	0,8170	0,0588	7,20	0,1646	12
QP1	96	1,5347	0,1048	7,28	0,2934	12
QP1	168	2,5996	0,2498	9,61	0,6994	12
AP	48	0,7787	0,0403	5,17	0,1128	10
AP	96	1,4094	0,0923	6,55	0,2584	10
AP	168	2,309	0,1594	6,56	0,4463	10
QP2	48	0,8566	0,0686	8,01	0,1921	5
QP2	96	1,5720	0,0976	6,21	0,2733	5
QP2	168	2,7600	0,2588	9,38	0,7246	5

Nota. Con base en dos repeticiones en cada pasada de ensayo, No. = número de diferentes cámaras de niebla salina en el programa de ensayo;  $r$  = 95 % de límites de repetibilidad, g;  $C_v$  =  $S_r$ /prom. coeficiente de variación, %; y  $S_r$  = desviación estándar de repetibilidad, g.

X.3.8.2 Este programa entre laboratorios también produjo resultados en la reproducibilidad de resultados, es decir, la coherencia de los resultados de pérdida de masa en los ensayos en diferentes laboratorios o en diferentes cámaras en la misma instalación. Este programa arrojó desviaciones estándar de reproducibilidad  $S_R$  de las cuales el 95 % de los límites de reproducibilidad,  $R$  se calcularon como sigue (véase la norma ASTM E 691):

$$R = 2.8 S_R$$

Los valores de  $S_R$  y  $R$  se dan en la Tabla X.3.2 Obsérvese que la relación entre la desviación estándar y la pérdida de masa promedio, el coeficiente de variación,  $C_v$ , varía entre 8 % a 18 % con un promedio ponderado de 12,7 % y una  $R$  de  $\pm 36$  % de la pérdida de masa promedio.

X.3.8.3 La pérdida de masa del acero en este procedimiento de niebla salina depende del área de acero expuesta, la temperatura, el tiempo de exposición, la composición de la solución salina y la pureza, el pH, las condiciones de rocío y la metalurgia del acero. El procedimiento del Apéndice X.3 para medir la corrosividad de las cámaras de niebla salina neutra con paneles de acero no tiene desviación porque el valor de corrosividad de la niebla salina se define sólo en función de este procedimiento.

**Tabla X.3.2 Estadísticas de reproducibilidad**

<b>Materiales</b>	<b>Duración del ensayo, h</b>	<b>Pérdida de masa promedio, g</b>	<b>Sr, g</b>	<b>Cv, %</b>	<b>r, g</b>	<b>No.</b>
QP1	48	0,8170	0,0947	11,58	0,2652	12
QP1	96	1,5347	0,2019	14,02	0,5653	12
QP1	168	2,5996	0,3255	12,52	0,9114	12
AP	48	0,7787	0,0805	10,33	0,2254	10
AP	96	1,4094	0,1626	11,54	0,4553	10
AP	168	2,309	0,3402	14,00	0,9526	10
QP2	48	0,8566	0,1529	17,85	0,4281	5
QP2	96	1,5720	0,1319	8,39	0,3693	5
QP2	168	2,7600	0,3873	14,03	1,0844	5

Nota. No. = número de diferentes cámaras de niebla salina en programa de ensayo; R = 95 % de límites de reproducibilidad, g; Cv =  $S_R/\text{prom.}$ , coeficiente de variación, %; y  $S_R$  = desviación estándar de reproducibilidad, g.

#### **DOCUMENTO DE REFERENCIA**

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Practica foro Operativa Sal Spray (Fog) Apparatus. West Conshohocken, Filadelfia: ASTM, 1995, 7 p. (ASTM B 117-95)

**ANEXO 2**

**INFORME**



## INFORME DE ENSAYO

Código: FA006001 Versión: 01  
Vigencia: 16/07/2012 Página 1 de 15

**Consecutivo No.011- 2022**  
**Fecha 2022-04-5**

<b>Empresa</b>	BRAYAN STEVEN PULIDO ROBAYO		
<b>Nombre</b>	Brayan Steven Pulido Robayo		
<b>Dirección</b>	Dg 168 Bis N. 98-46	<b>Teléfono</b>	3043475180
<b>Correo electrónico</b>	Brayan.pulido@estudiantes.uamerica.edu.co		

<b>Laboratorio</b>	Electroquímica y catálisis
<b>Ensayos</b>	Cámara Salina
<b>Orden de trabajo</b>	LQUI-053

Muestra	
<b>Consecutivo</b>	LQUI-053
<b>Cantidad</b>	7

Ejecución del ensayo	
<b>Fecha inicio</b>	7/11/2022
<b>Fecha fin</b>	12/11/2022

### 1. DESCRIPCIÓN DE LAS MUESTRAS

Replica	Nombre	Descripción
LQUI-053-A	Sin Pintura A	Lamina metálica rectangular
LQUI-053-B	Sin Pintura B	Lamina metálica rectangular
LQUI-053-C	Pintura sin Inhibidor A	Lamina metálica rectangular con recubrimiento de color blanco
LQUI-053-D	Pintura sin Inhibidor B	Lamina metálica rectangular con recubrimiento de color blanco
LQUI-053-E	Pintura con Inhibidor A	Lamina metálica rectangular con recubrimiento de color blanco
LQUI-053-F	Pintura con Inhibidor B	Lamina metálica rectangular con recubrimiento de color blanco
LQUI-053-G	Comercial	Lamina metálica rectangular con recubrimiento de color gris

### 2. MÉTODO DE ENSAYO

<b>Nombre del Análisis o Ensayo</b>	Cámara Salina
<b>Equipo</b>	Atlas SF corrosion exposure System
<b>Descripción del Ensayo</b>	El ensayo de cámara salina determina la resistencia de un material a la corrosión sometiéndolo a un ambiente de extrema humedad, temperatura y químicamente activo. Las muestras son introducidas en



**INFORME DE ENSAYO**

Código: FA006001 Versión: 01  
Vigencia: 16/07/2012 Página 2 de 15

**Consecutivo No.011- 2022**  
**Fecha 2022-04-5**

	una cámara donde una solución salina de cloruro de sodio al 5% en peso es atomizada como una niebla densa sobre las muestras continuamente a una temperatura constante de 35 °C por <b>100 horas</b> . El ensayo se realiza en el equipo Atlas SF corrosion exposure System y se basa en la norma ASTM B 117. El ensayo es aplicado para determinar la vida útil de los revestimientos en los metales.
<b>Reactivos</b>	Cloruro de Sodio y Agua
<b>Normas o especificación Aplicable</b>	ASTM B 117
<b>Contramuestra</b>	N.A

<b>Equipo</b>	Rallador de cuadrícula Elcometer Serie 94858. Método de adhesión A en panel de metálico, tiempo de fraguado mayor a 72 horas, desviaciones de la norma; cinta de adhesión marca 3M ref.301, bisturí, regla.
<b>Descripción del ensayo</b>	Adherencia – Adherencia de películas de recubrimientos a un panel aplicando y removiendo una cinta sensible a la presión sobre un corte hecho en la película. Este método se emplea generalmente para establecer si la adherencia de un recubrimiento a un sustrato es adecuada. NO distingue entre niveles superiores o inferiores de adherencia
<b>Normas o especificación aplicable</b>	D3359-22
<b>Contramuestra</b>	N.A.

**3. RESULTADOS**

LQUI-053-A Sin Pintura A	
Tiempo de Exposición	Registro

**INFORME DE ENSAYO**

Código: FA006001 Versión: 01  
Vigencia: 16/07/2012 Página 3 de 15

**Consecutivo No.011- 2022**  
**Fecha 2022-04-5**

0 horas	
24 horas	
48 horas	

**INFORME DE ENSAYO**

Código: FA006001 Versión: 01  
 Vigencia: 16/07/2012 Página 4 de 15

**Consecutivo No.011- 2022**  
**Fecha 2022-04-5**

72 horas	
100 horas	

LQUI-053-B Sin Pintura B	
Tiempo de Exposición	Registro
0 horas	

**INFORME DE ENSAYO**

Código: FA006001 Versión: 01  
Vigencia: 16/07/2012 Página 5 de 15

**Consecutivo No.011- 2022**  
**Fecha 2022-04-5**

24 horas	
48 horas	
72 horas	

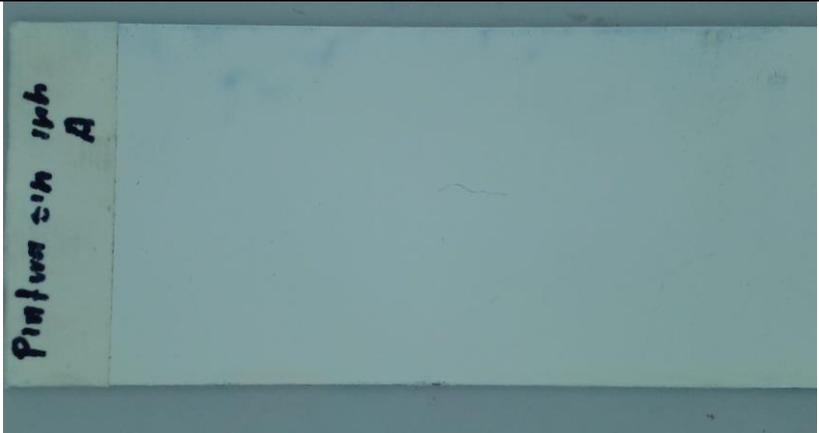


**INFORME DE ENSAYO**

Código: FA006001 Versión: 01  
 Vigencia: 16/07/2012 Página 6 de 15

**Consecutivo No.011- 2022**  
**Fecha 2022-04-5**

100 horas	
-----------	--

LQUI-053-C Sin Inhibidor A	
Tiempo de Exposición	Registro
0 horas	
24 horas	

### INFORME DE ENSAYO

Código: FA006001 Versión: 01  
Vigencia: 16/07/2012 Página 7 de 15

**Consecutivo No.011- 2022**  
**Fecha 2022-04-5**

48 horas	
72 horas	
100 horas	

LQUI-053-D Sin Inhibidor B	
Tiempo de Exposición	Registro



### INFORME DE ENSAYO

Código: FA006001 Versión: 01  
Vigencia: 16/07/2012 Página 8 de 15

**Consecutivo No.011- 2022**  
**Fecha 2022-04-5**

0 horas	
24 horas	
48 horas	

### INFORME DE ENSAYO

Código: FA006001 Versión: 01  
Vigencia: 16/07/2012 Página 9 de 15

**Consecutivo No.011- 2022**  
**Fecha 2022-04-5**

72 horas	
100 horas	

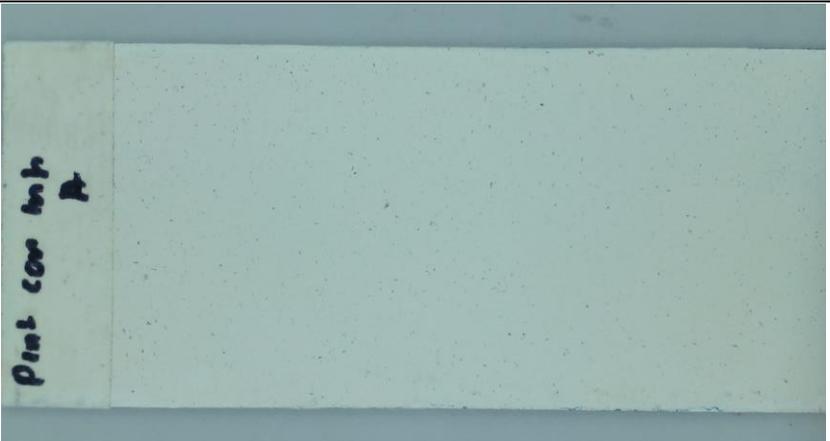
LQUI-053-E Con Inhibidor A	
Tiempo de Exposición	Registro

**INFORME DE ENSAYO**

Código: FA006001 Versión: 01

Vigencia: 16/07/2012 Página 10 de 15

**Consecutivo No.011- 2022**  
**Fecha 2022-04-5**

0 horas	
24 horas	
48 horas	

### INFORME DE ENSAYO

Código: FA006001 Versión: 01

Vigencia: 16/07/2012 Página 11 de 15

**Consecutivo No.011- 2022**  
**Fecha 2022-04-5**

72 horas	
100 horas	

LQUI-053-F Con Inhibidor B	
Tiempo de Exposición	Registro
0 horas	

**INFORME DE ENSAYO**

Código: FA006001 Versión: 01

Vigencia: 16/07/2012 Página 12 de 15

**Consecutivo No.011- 2022**  
**Fecha 2022-04-5**

24 horas	
48 horas	
72 horas	

### INFORME DE ENSAYO

Código: FA006001 Versión: 01

Vigencia: 16/07/2012 Página 13 de 15

**Consecutivo No.011- 2022**  
**Fecha 2022-04-5**

100 horas	
-----------	--

LQUI-053-G Comercial	
Tiempo de Exposición	Registro
0 horas	
24 horas	

### INFORME DE ENSAYO

Código: FA006001 Versión: 01

Vigencia: 16/07/2012 Página 14 de 15

**Consecutivo No.011- 2022**  
**Fecha 2022-04-5**

48 horas	
72 horas	
100 horas	

**Propiedad**

**MUESTRA - LQUI-053/2022**

### INFORME DE ENSAYO

Código: FA006001 Versión: 01  
Vigencia: 16/07/2012 Página 15 de 15

**Consecutivo No.011- 2022**  
**Fecha 2022-04-5**

Adherencia	0B – Remoción mayor al 65% del área en la cuadrícula	La prueba de adherencia se realiza a paneles o laminas traídas por el cliente, no se tiene información del sustrato metálico. Tampoco se tiene información de espesor de la película aplicada, se desconoce el tiempo de secado o fraguado La aplicación es de aspecto blando con aparente falta de tiempo de secado. La película se levanta fácilmente con la uña
------------	--	--



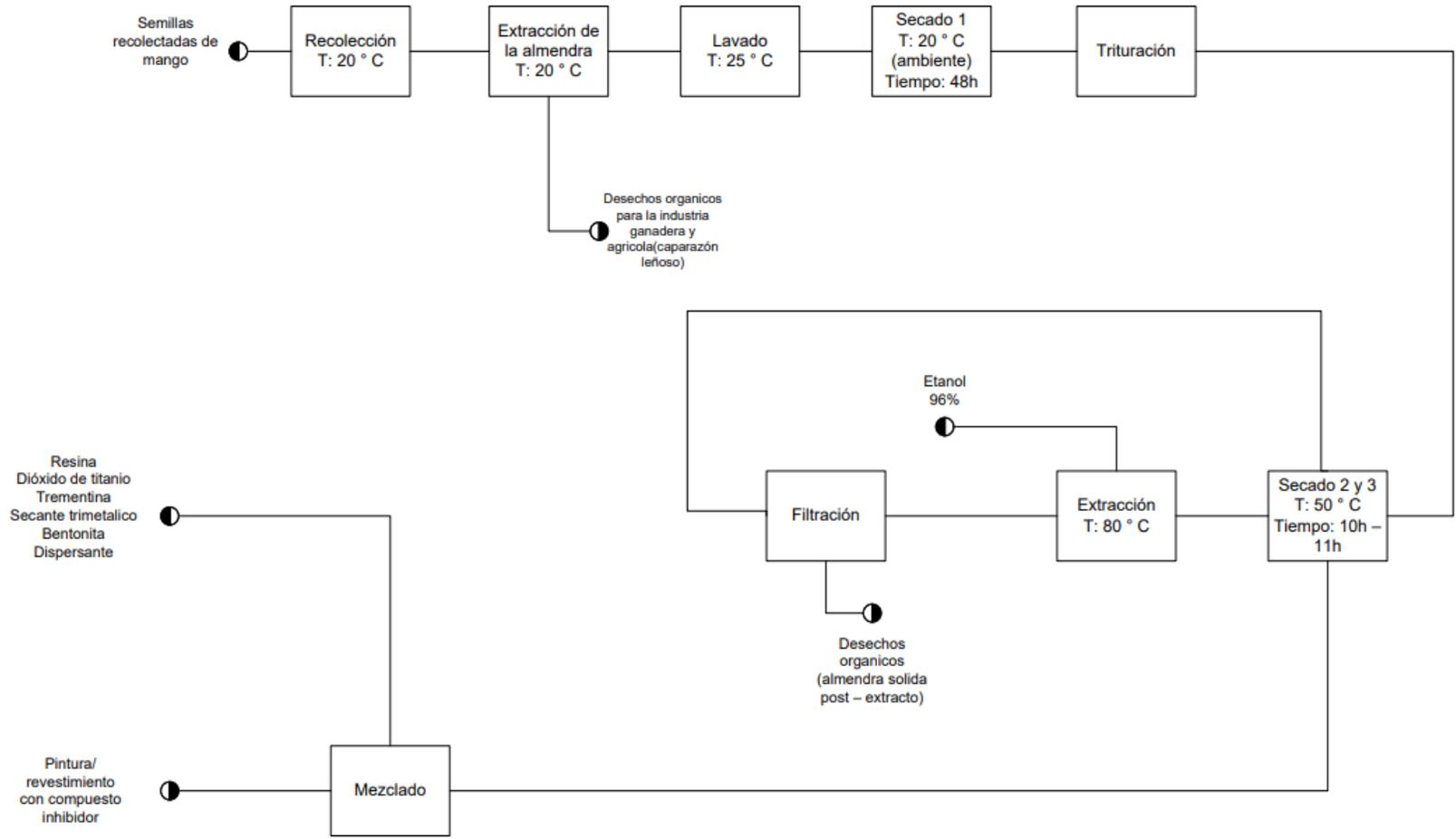
Imagen del resultado de ensayo de Adherencia



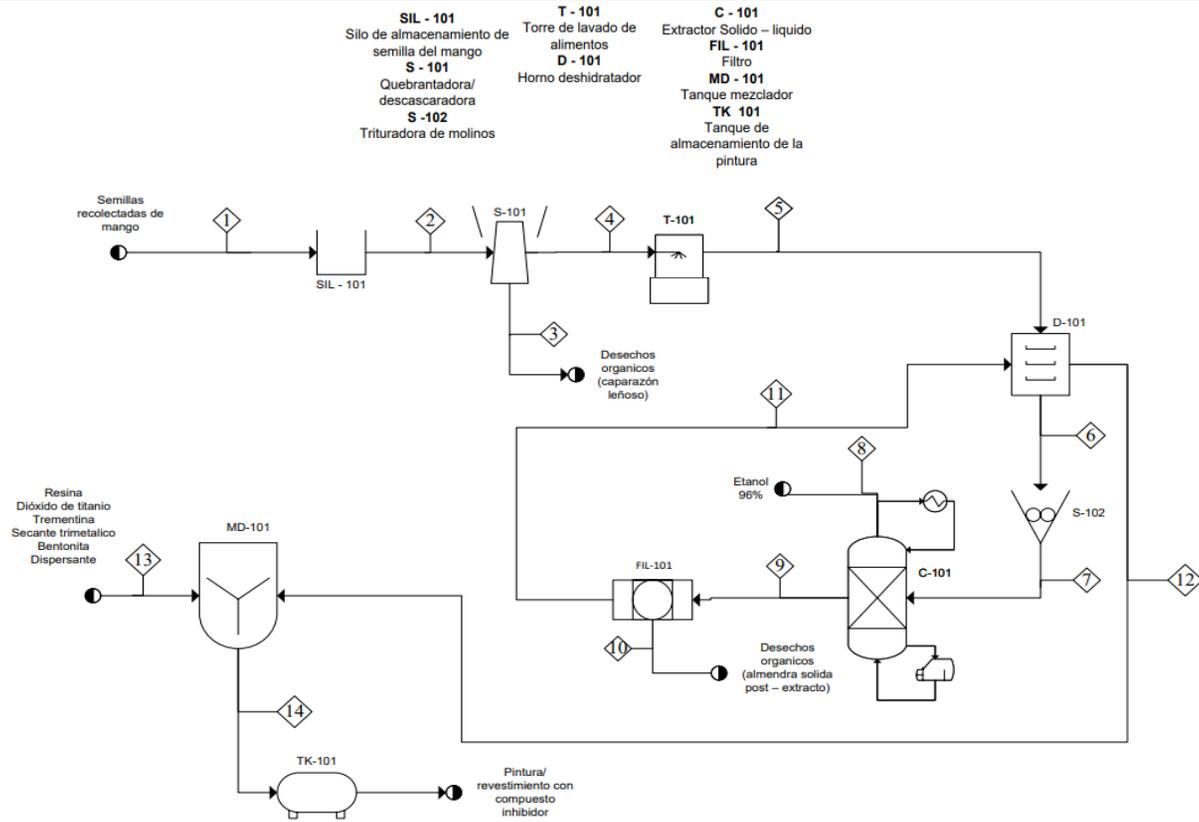
Ing. JAIRO E. PERILLA P.  
Coordinador

**ANEXO 3**  
**DIAGRAMAS**

# DIAGRAMA BFD producción de pintura anticorrosiva con polifenoles de la almendra del mango



## DIAGRAMA PFD producción de pintura anticorrosiva con polifenoles de la almendra del mango



Balance de masa en flujo masico														
Componente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Semilla	25,093	25,093	17,566		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Almendra	0	0	0	7,528	7,528	7,528	7,528		7,528	6,173		0	0	0
Etanol	0	0	0	0	0	0	0	59,400	59,400	0	59,400	0	0	0
Resina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13,550	13,550
Dióxido de titanio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	257,483	257,483
Trementina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	128,726	128,726
Secante trimetalico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47,425	47,425
Bentonita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20,325	20,325
Dispersante	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20,325	20,325
Extracto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,355	1,355	0	1,355
Carbonato de calcio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,840	10,840
<b>TOTAL</b>	<b>25,093</b>	<b>25,093</b>	<b>17,566</b>	<b>7,528</b>	<b>7,528</b>	<b>7,528</b>	<b>7,528</b>	<b>59,400</b>	<b>66,928</b>	<b>6,173</b>	<b>60,755</b>	<b>1,355</b>	<b>498,645</b>	<b>500</b>

## ANEXO 4

### RECOMENDACIONES

1. Para mejorar el rendimiento de la extracción soxhlet se recomienda:
  - Efectuar un número mayor de ciclos en el proceso soxhlet para obtener un extracto más concentrado de polifenoles, teniendo en cuenta que cada ciclo extiende el proceso de extracción.
  - Utilizar diferentes solventes conociendo sus puntos de ebullición, esto cambia los tiempos de extracción finales.
  - Utilizar otros tipos de extracción diferente a la extracción soxhlet.
  - Verificar y seleccionar materia prima en las condiciones óptimas para la extracción.
2. La presente investigación se centró en la verificación de la propiedad inhibidora del extracto de almendra de mango, por lo cual no se descarta su utilización con diferentes productos, ya sean sprays, lacas, barnices, ceras masillas y lubricantes (la forma de aplicación del compuesto inhibidor incidirá en la efectividad del mismo debido a la adherencia que aporte el mecanismo y las condiciones de secado).
3. Para la formulación de pintura se recomienda realizar un diseño de experimentos para obtener las composiciones más óptimas de los reactivos para el desarrollo de la pintura, además se propone realizar pruebas a diferentes condiciones de temperatura, presión y humedad, con el fin de analizar la eficiencia del compuesto inhibidor dentro de la pintura teniendo en cuenta diferentes condiciones climáticas.
4. Para determinar la efectividad del inhibidor de almendra de mango se recomienda realizar análisis de corrosión acelerada en metales como aceros inoxidable o con porcentajes de carbon elevados con el fin de expandir el rango de resultados en materiales más resistentes (se recomienda también variar las geometrías).
5. Para la formulación se recomienda aplicar una capa de pintura gruesa (agregando más capas de pintura) y destinar un mayor tiempo de secado para tener una mayor adherencia, además realizar pruebas de la pintura en diferentes condiciones

climáticas ya que no se tienen datos de alteraciones en la pintura por temperatura, presión o humedad variable.

6. Ejecutar un control adecuado sobre los tiempos de producción conociendo las variables más importantes del proceso puede disminuir el total requerido para la meta de producción fijada en el diseño del proceso (7 días).
7. Realizar pruebas de calidad con el fin de lograr estandarizar el producto.
8. Para un proceso batch se podrían reducir los procesos de secado al realizarlos con un horno deshidratador que elimine la humedad en un menor tiempo efectuando la reducción del consumo energético, por lo cual se podría utilizar el mismo equipo para los dos procesos de secado pensados inicialmente, además de cambiar la metodología de extracción convencional de polifenoles por una fermentación de antioxidantes fenólicos, haciendo uso de biotecnologías como la fermentación en medio sólido (FMS), la cual se aplica a material lignoceluloso.