

**ANÁLISIS DE LA INCOMPATIBILIDAD DE MATERIALES CON DIÓXIDO DE CLORO
EN LA EMPRESA EGESTEC S.A.S LOCALIZADA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C**

IVÁN MATEO SALAZAR RODRÍGUEZ

**Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO**

Director

Ing. Oscar Libardo Lombana Charfuelan

Ingeniero Químico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA

BOGOTÁ D.C

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

Nombre

Firma Jurado 1

Nombre

Firma Jurado 2

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 GUZMAN

Vicerrector Administrativo y Financiero

DR. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO

Secretario General

DR. JOSÉ LUIS MACÍAS RODRÍGUEZ

Decano de la Facultad de Ingenierías

ING. NALINY PATRICIA GUERRA PRIETO

Director Programa de Ingeniería Química

ING. NUBIA LILIANA BECERRA OSPINA

Las Directivas de la Universidad de América, los jurados calificados y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente al autor.

DEDICATORIA

A mis padres, porque me han apoyado durante toda la carrera, porque la persona que soy hoy es gracias a ellos, por enseñarme que no todo en la vida es dinero y estudio, sino ser un profesional y persona de bien, no solo con la familia, también con cualquier persona que en un futuro esté presente en mi vida.

A mis hermanos, por estar conmigo en las buenas y en las malas, y enseñarme que la vida es para pasarla bien y disfrutarla, que por más momentos malos que tengamos, hay que ver siempre el lado positivo a las cosas.

A mi familia en general por siempre creer en mí, y estar presentes ahí en todo momento, por hacerme sentir que siempre hay alguien ahí esperando a ver mis triunfos.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por apoyarme y acompañarme en mi camino para cumplir mis sueños, a enseñarme a ser una persona de bien y con ética profesional, por ser un gran ejemplo de que en este mundo aún existen personas extraordinarias, con las que vale la pena luchar por ellos.

A mis hermanos por hacerme mis días menos complejos, por estar ahí siempre tanto en los buenos como en los malos momentos.

A mi director de tesis, Ing. Oscar Lombana, por estar siempre pendiente en los avances del trabajo y colaborarme en todo este proceso.

A la empresa Egestec SAS por estar siempre ahí para apoyarme con todo lo que necesitara, ya sea para conocimientos o procesos como tal.

CARTA DEL REPRESENTANTE DE LA EMPRESA

BOGOTÁ D. C.,

13 Junio de 2022

SEÑORES:
COMITÉ CURRICULAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

Respetados Señores:

En mi calidad de Líder de Proyectos, Investigación y Desarrollo de la Empresa Egestec S.A.S Comunico a Uds, que estamos enterados de la Propuesta de Investigación que lleva por título “ANÁLISIS DE LA INCOMPATIBILIDAD DE MATERIALES CON DIÓXIDO DE CLORO EN LA EMPRESA EGESTEC LOCALIZADA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.” y que tiene como objetivo general “Evaluar la compatibilidad de diferentes tipos de materiales con Dióxido de Cloro, en unas condiciones experimentales determinadas, mediante la observación de las piezas de los materiales antes y después de la exposición al desinfectante.”. Presentado por el estudiante Ivan Mateo Salazar Rodríguez. En Egestec, estamos dispuestos a apoyar con todo el Soporte Técnico (uso de laboratorios, equipos, máquinas, software) y financiero (compra de reactivos, materiales, ...; pago de viáticos en caso de requerirse con previa autorización, ...) a fin de que este Proyecto logre los resultados esperados por los Investigadores, la Universidad de América y nuestra Empresa.

Cordialmente,



Nombre: Paula Andrea Martínez Guerrero
C.C. 1010231017 Bogotá D.C
Líder de Proyectos, Investigación y Desarrollo. Egestec S.A.S



TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	17
JUSTIFICACIÓN	18
1. OBJETIVOS	19
1.1. Objetivo general	19
1.2. Objetivos específicos	19
2. MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE COMPATIBILIDAD DE MATERIALES CON DIÓXIDO DE CLORO	20
3. DIÓXIDO DE CLORO	22
2.1. Usos	22
2.2. Toxicidad	24
2.3. Almacenamiento	25
2.4. Compatibilidad	25
2.5. Potenciales eléctricos de diferentes desinfectantes	25
3. PRUEBAS DE COMPATIBILIDAD	27
3.1. Prueba de remojo	27
3.2. Prueba de inmersión	29
3.3. Ensayo de niebla salina	30
3.4. Ensayos de corrosión en atmósfera urbana	31
3.5. Ensayos de corrosión electroquímica	31
4. CORROSIÓN	33
5. TIPOS DE CORROSIÓN	34
5.1. Corrosión química	34
5.2. Corrosión de las tuberías de aguas	34

5.3. La herrumbe en los metales expuestos al agua	35
5.4. El color de la estatua de la libertad	35
5.5. Corrosión de latas de conserva	35
5.6. Formas de evitar la corrosión	35
6. AGENTES OXIDANTES	36
6.1. Peróxido de hidrógeno (C_2H_2)	36
6.3. Ozono (O_3)	37
6.4. Ácido hipocloroso ($HOCl$)	37
7. MATRIZ DE COMPATIBILIDAD DE PRODUCTOS QUÍMICOS	39
8. NORMATIVIDAD DE MATRIZ DE COMPATIBILIDAD	40
8.1. Resolución 777 de 2021 del ministerio de salud y protección social	40
9. RESOLUCIONES AMBIENTALES DE MANEJO DE SUSTANCIAS TÓXICAS	42
9.1. Resolución 773 de 2021	42
9.2. Resolución 0312 de 2019	42
9.3. Decreto 1496 de 2018	43
9.4. Decreto 1609 de 2002	44
9.5. Decreto 1973 de 1995	45
9.6. Ley 55 de 1993	46
9.7. UNE-EN ISO 11885:2010	47
9.8. Guía ISO 30	48
9.9. ISO 3696	48
9.10. ISO 5667-1	48
9.11. ISO 7027	49
9.12. ISO 15587-1	49
9.13. ISO 15587-2	50

10. TÉCNICAS DE MEDICIÓN DE PRESENCIA DE METALES EN SOLUCIONES	52
11. TÉCNICAS DE MEDICIÓN DE PRESENCIA DE CORROSIÓN	53
11.1. LPR (Resistencia a la polarización lineal)	53
11.2. EIS (Espectroscopía de impedancia eléctrica)	53
11.3. TAFEL	54
11.4. Espectrofotometría	55
12. MATERIALES	57
12.1. INOX 304	58
12.2. INOX 316	59
12.3. PVC SCH 80	59
12.4. PRFV	59
12.5. CPVC	60
13. PRUEBAS EXPERIMENTALES DEL MÉTODO SELECCIONADO	61
14. PRUEBAS DE COMPATIBILIDAD (LABORATORIOS)	63
15. PRUEBAS FÍSICAS	69
16. ANÁLISIS FINANCIERO DE LAS INDUSTRIAS EN COLOMBIA	75
16.1. Mercado de los aceros en Colombia	75
16.2. EMPRESAS MÁS GRANDES COMERCIALIZADORAS DE ACERO EN COLOMBIA	77
16.3. Mercado del PVC en Colombia	85
16.4. Mercado de las resinas en Colombia	91
17. CONCLUSIONES	93
BIBLIOGRAFÍA	94

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Dióxido de Cloro (envases)	22
Figura 2. Peligrosidad Dióxido de Cloro	24
Figura 3. Potenciales de los desinfectantes	26
Figura 4. Prueba de remojo	28
Figura 5. Prueba de inmersión	29
Figura 6. Ensayo de Niebla Salina	30
Figura 7. Ensayos de Corrosión en Atmósfera Urbana	31
Figura 8. Ensayo de Corrosión Electroquímica	32
Figura 9. Microscopio TAFEL	54
Figura 10. Espectrofotómetro	55
Figura 11. Pruebas de Dióxido de Cloro en envases ámbar	63
Figura 12. Gráfica de comportamiento del peso respecto al tiempo de exposición de los diferentes materiales de prueba	71
Figura 13. Industria del acero	76
Figura 14. Mapa del Mercado de Aceros en Colombia	78
Figura 15. Ingresos Operacionales del mercado siderúrgico	80
Figura 16. EBITDA (Beneficios antes de intereses, impuestos, depreciación y amortización) del mercado siderúrgico	81
Figura 17. Resultado Neto del mercado siderúrgico	82
Figura 18. Activo Total del mercado siderúrgico	82
Figura 19. Pasivo Total del mercado siderúrgico	83
Figura 20. Patrimonio Total del mercado siderúrgico	83
Figura 21. Principales consumidores de plástico en Colombia	86
Figura 22. Empresas Importadoras de plásticos en Colombia	89
Figura 23. Empresas Exportadoras de plástico en Colombia	90
Figura 24. Acero Carbón (Blanco)	100
Figura 25. Acero Carbón Primera Semana	100
Figura 26. Acero Carbón Segunda Semana	101
Figura 27. Acero Carbón Tercera Semana	101

Figura 28. Acero Carbón Cuarta Semana	101
Figura 29. Acero INOX 304 (Blanco)	102
Figura 30. Acero INOX 304 Primera Semana	102
Figura 31. Acero INOX 304 Segunda Semana	102
Figura 32. Acero INOX 304 Tercera Semana	103
Figura 33. Acero INOX 304 Cuarta Semana	103
Figura 34. Acero INOX 316 (Blanco)	104
Figura 35. Acero INOX 316 Primera Semana	104
Figura 36. Acero INOX 316 Segunda Semana	104
Figura 37. Acero INOX 316 Tercera Semana	105
Figura 38. Acero INOX 316 Cuarta Semana	105
Figura 39. Fibra de Vidrio (Blanco)	105
Figura 40. Fibra de Vidrio Primera Semana	106
Figura 41. Fibra de Vidrio Segunda Semana	106
Figura 42. Fibra de Vidrio Tercera Semana	106
Figura 43. Fibra de Vidrio Cuarta Semana	107
Figura 44. PVC SCH 80 (Blanco)	108
Figura 45. PVC SCH 80 Primera Semana	108
Figura 46. PVC SCH 80 Segunda Semana	108
Figura 47. PVC SCH 80 Tercera Semana	109
Figura 48. PVC SCH 80 Cuarta Semana	109

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Tipos de Aceros conocidos en la Industria	57
Tabla 2. Resultados de las soluciones obtenidos de las pruebas de exposición de los diferentes materiales en variaciones de tiempo	64
Tabla 3. Resultados de materiales expuestos en diferentes tiempos al Dióxido de Cloro	66
Tabla 4. Matriz de compatibilidad del Dióxido de cloro con los materiales	68
Tabla 5. Pruebas físicas Acero INOX 304	69
Tabla 6. Pruebas físicas Acero INOX 316	69
Tabla 7. Pruebas físicas Acero al carbono	70
Tabla 8. Pruebas físicas Fibra de vidrio	70
Tabla 9. Pruebas físicas PVC SCH 80	71
Tabla 10. Pruebas de resistencia con una prensa de 12 toneladas de fuerza	73
Tabla 11. Empresas de producción siderúrgica	80
Tabla 12. Empresas de Importación de plásticos en Colombia	88
Tabla 13. Empresas Exportadoras de plásticos en Colombia	89

LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

°C	Grados Celsius
ml	Mililitros
L	Litros
g	Gramos
ppm	Partes por millón
K	Grados Kelvin
KJ	Kilo Jules
J	Jules
mol	Moles
%	Porcentaje
Wt%	Porcentaje en peso sobre peso

RESUMEN

A lo largo de estos quince años de experiencia, Egestec Líder en generación de Dióxido de Cloro. Ha puesto a disposición del sector industrial su condición de especialistas y su innovación para la optimización de los procesos en el tratamiento de aguas en sus filiales e industria nacional e internacional. Los procesos para la generación de Dióxido de Cloro (ClO_2) in-sitú (se genera en el lugar de dosificación) suministrados por Egestec, garantizan una producción confiable, segura, rentable y eficiente con tecnología ECF (Elemental Chlorine Free), garantizando la disminución de emisiones de dióxido de carbono y residuos peligrosos.

El Dióxido de Cloro es un desinfectante capaz de atacar materia orgánica y microorganismos, ya que posee un poder de oxidación 5 veces superior que el Cloro, por lo que su eficiencia en el tratamiento es mejor en menos tiempo de contacto, generando una reducción de uso de producto. Sin embargo, por su poder de oxidación puede generar afectaciones en distintos tipos de materiales (metales, plásticos, cerámicos, etc.) tanto físicas, como químicas.

Sin embargo, a pesar de la existencia de una ficha técnica acerca del Dióxido de cloro en general, muchas industrias son conscientes de la existencia de variedades de Dióxido de Cloro, ya que para su respectiva generación, se pueden usar formas ácidas, salinas o básicas, en donde la calidad del mismo varía en cada uso industrial, por lo que la empresa Egestec SAS, tiene la intención de analizar el comportamiento de su producto estrella frente a diferentes materiales que para ellos son accesibles y fáciles de obtener, evitando así una afectación económica durante el proceso.

El presente proyecto pretende comprender la compatibilidad del Dióxido de Cloro con distintos materiales (siendo algunos como el acero INOX 316, acero al carbón, acero INOX 304, fibra de vidrio y PVC SCH 80) mediante pruebas físicas y químicas.

La prueba seleccionada fue la de inmersión, en donde los materiales fueron sumergidos de forma directa en el desinfectante por tiempos establecidos (1 semana, 2 semanas, 3 semanas, 1 mes), pasado este tiempo se realizaron pruebas como el cambio de peso de

los materiales por medio de una báscula gramera, pruebas de resistencia por medio de un gato hidráulico, y el comportamiento del Dióxido de Cloro antes y después del contacto con los materiales.

Los resultados de las pruebas mostraron un comportamiento deficiente del acero al carbón y la fibra de vidrio, ya que durante las pruebas fueron afectados tanto físicamente, como químicamente, generando pérdida de peso y un desgaste del Dióxido de Cloro. Por otro lado, materiales como INOX 304 y PVC SCH 80 no recibieron daños físicos que generaran daños severos sobre el material, pero si generó un desgaste total del desinfectante. Finalmente, el acero INOX 316 no fue afectado físicamente por el desinfectante y adicionalmente no hubo un desgaste en el producto de interés.

PALABRAS CLAVE: Dióxido de Cloro, ICP, INOX 304, INOX 316, PVC, corrosión, desinfectante, ingeniería de materiales, compatibilidad.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, el Dióxido de Cloro ha sido el desinfectante más usado en la industria por su alta eficiencia sobre la materia orgánica, metales pesados y microorganismos, debido a su alto poder oxidante, siendo este cinco veces más que el cloro, su mínimo índice de generación de subproductos lo hacen superior sobre otros desinfectantes como el Hipoclorito y el Ozono, ampliando su uso en diferentes sectores industriales, ya sea el floricultor, acueductos, alimenticio, etc. [1]

Sin embargo, su alto poder oxidante, afecta negativamente a diferentes materiales provocándoles corrosión, generando una degradación en algunos materiales, sobre todo metales, debido a su alto índice corrosivo frente a desinfectantes contaminando la solución de interés. Por esta razón es necesaria la investigación de los distintos materiales que se emplean en la industria, principalmente la colombiana, y por medio de pruebas y análisis encontrar el material que más eficiencia y resistencia tenga a dicho desinfectante.

Este proyecto va encaminado a encontrar el material que más compatibilidad tenga con el Dióxido de Cloro, para poder ser usado en las diferentes industrias en las que se requiere el uso de un agente desinfectante sin ocasionar contaminación ni daño en el material.

Sin embargo, cabe aclarar que la empresa Egestec SAS es una empresa relativamente pequeña, por lo que una de las limitaciones del proyecto es la parte económica, donde se tratará de buscar materiales y procesos accesibles y que tengan una relevancia sobre la empresa misma. Es de suma importancia para la empresa encontrar un material eficiente y comprobar por sus propios medios acerca del material más resistente para poder ser mostrado a las normas y certificaciones NSF (quienes controlan la calidad y eficiencia de un producto químico en las industrias) y de esa manera poder ampliar la ficha técnica del producto químico.

JUSTIFICACIÓN

A pesar de llevar 15 años en el mercado de químicos para el tratamiento de aguas, la empresa Egestec SAS no contaba con la zona de investigación y desarrollo para poder implementar planes de mejora y así generar innovación con su producto estrella conocido como el Dióxido de Cloro (ClO_2). Se sabe que el principal problema es la degradación del Dióxido de Cloro, debido a sus propiedades químicas, con el simple contacto con la atmósfera genera una pérdida de concentración del mismo, por lo que es de suma importancia para la empresa Egestec SAS, el estudio de una forma de contención del mismo aislándolo del ambiente y al mismo tiempo que soporte el proceso de oxidación que genera el desinfectante sobre un material específico.

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo general

Evaluar la compatibilidad de los distintos tipos de materiales en exposición a Dióxido de Cloro, en unas condiciones experimentales determinadas, a partir de la observación de las piezas de los materiales previo y posterior a la exposición al desinfectante.

1.2. Objetivos específicos

- Investigar por medio de revisiones bibliográficas acerca de diferentes métodos de evaluación de compatibilidad de materiales expuestos de manera directa al desinfectante.
- Realizar pruebas experimentales de acuerdo a los métodos de compatibilidad.
- Analizar los diferentes caminos financieros dependiendo de cada material de prueba para la empresa Egestec S.A.S.

2. MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE COMPATIBILIDAD DE MATERIALES CON DIÓXIDO DE CLORO

Muchas industrias, en especial la alimenticia son estrictas con sus normas de sanidad y cada uno de los productos que usan durante su proceso de producción. El dióxido de cloro es una sustancia que es muy eficaz a la hora de tratar el agua debido a su alto índice de potencial de oxidación dándole una facilidad de atacar microorganismos y materia orgánica, generando una alta eficiencia en el proceso del tratamiento del mismo, por lo que su uso puede llegar a cualquier industria.

Sin embargo, el dióxido de cloro presenta limitaciones, una de ellas es su forma de contención y transporte ya que es muy difícil mantenerlo controlado en un lugar cerrado, a comparación del Cloro que es muy corrosivo por su acción desinfectante, por lo que, para su correcto uso, se deben seleccionar materiales que tengan la capacidad de permanecer en contacto con el desinfectante sin corroerse ni desgastar el producto.

Así mismo, el dióxido de cloro es muy reactivo y puede generar problemas al hacer contacto con algunos materiales, tales como el desgaste del desinfectante a la hora de la generación de una reacción y la afectación del material por el efecto corrosivo del desinfectante y su alto poder oxidante.

Por lo que el presente trabajo propone evaluar 5 diferentes materiales, usados comúnmente en la construcción de equipos e instalaciones empleados en diferentes industrias, los cuales son: acero INOX 316, acero INOX 304, acero al carbón, fibra de vidrio y PVC SCH 80.

Los materiales mencionados son los más comunes a la hora de construir reactores, redes, tanques, etc. [2]. Debido a esto, el presente proyecto busca analizar por medio de pruebas de compatibilidad entre los diferentes materiales y dióxido de cloro, el material más eficiente para la contención o almacenamiento del mismo, y de esa manera cumplir con las normativas de sanidad, sobre todo para las empresas alimenticias.

Este proceso no solo requiere de pruebas de compatibilidad por un mes, también se requiere de unas pruebas químicas en donde se involucra el espectrofotómetro para analizar si quedaron residuos sólidos después de la exposición, debido a la afectación

de las propiedades físicas del materiales generando contaminación a la muestra madre del desinfectante, contaminando el mismo; y adicionalmente unas pruebas físicas, en donde se analizará el material directamente, generándole pruebas de resistencia, maleabilidad, etc. Esto con el fin de dar una base más sólida a las pruebas y de esa manera llegar a un resultado más acertado a la hora de hacer las pruebas.

Para el correcto desarrollo del presente proyecto, es necesario aclarar diferentes conceptos que estarán involucrados durante la aplicación del mismo, se definirán y entenderán las diferentes especies y materiales que aportarán al análisis del mismo, por lo que a continuación se verán reflejados cada uno de los componentes y las distintas pruebas de compatibilidad que definirán la metodología del proyecto.

3. DIÓXIDO DE CLORO

El dióxido de Cloro (ClO_2) es un gas a temperatura ambiente de color amarillo verdoso cuyos puntos de fusión y de ebullición son $-59\text{ }^{\circ}C$ y $11\text{ }^{\circ}C$, respectivamente. Su solubilidad en agua es de 8 g/L a $20\text{ }^{\circ}C$, como productos de su descomposición se tienen los iones clorito (ClO_2^-) y clorato (ClO_3^-). Hay tres procedimientos para la obtención de dióxido de cloro: Oxidación del clorito de sodio, reducción de clorato y electrólisis de clorito de sodio.[1] Es principalmente utilizado como blanqueador en diferentes campos industriales, también como antiséptico en centros de salud y ambientes diversos. [1]

Figura 1.

Dióxido de Cloro (envases).



Nota. Imagen que muestra envases de Dióxido de Cloro industriales. Tomado de: Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, «Provoca efectos adversos a la salud el consumo de dióxido de cloro,» Universidad Nacional Autónoma de México, Coyoacán, 2020.

El Dióxido de cloro es un oxidante muy selectivo mostrado en la *Figura 1*, ataca el centro abastecido de electrones de las moléculas orgánicas. De esta manera se transfiere un electrón y el dióxido de cloro se reduce a ion clorito (ClO_2^-) [4].

2.1. Usos

El primer uso del dióxido de cloro fue realizado en 1944 para tratar las aguas de las cataratas del Niágara y se usó en el tratamiento de aguas debido a su eficacia, fue más popularizado desde 1975. Su empleo como blanqueador fue poco a poco investigado por estudios que mostraron su reactividad con la materia orgánica en desechos industriales

y fueron reportados en la década de 1990, así se observó que el dióxido de cloro tiene una gran reactividad con la lignina, compuesto complejo que se encuentra en las plantas. [1]

Anteriores reportes habían considerado el efecto contaminante de las sustancias cloradas de uso común como el cloro molecular (Cl_2) en el tratamiento de aguas residuales, entre otros (W J Masschelem. Chlorine Dioxide Chemistry and Environmental Impact of Oxychlorone Compounds, Ann Arbor Saence, Ann Arbor, MI, 1979, referido en: Burke M. et al. 1995). Debido a su gran reactividad, el ClO_2 fue considerado para reemplazar el uso de otras sustancias cloradas en el tratamiento de desechos orgánicos, siendo la principal ventaja la ausencia de formación de trihalometanos, sustancias peligrosas para la salud humana. [1]

Dada su alta reactividad y su muy baja o ausente toxicidad se vienen haciendo varios estudios en diferentes campos para afianzar su uso seguro. Pruebas de su uso en solución acuosa mostraron gran efectividad frente a diferentes tipos de microorganismos tal como es el caso de la inactivación de adenovirus entérico y calcivirus felino para los que se utilizaron cultivos de líneas celulares. Mostró una actividad antiviral 10 veces superior a la del hipoclorito de sodio sobre virus de la influenza, herpes y adenovirus humanos. [1]

Su acción sobre oocitos de *Cryptosporidium parvum* fue estudiada en aguas para consumo humano mostrando que aún a concentraciones menores que las usadas para el tratamiento con ozono (O_3) el ClO_2 redujo significativamente la contaminación de tales aguas. La inactivación de Verrucarín A y ronidín A, dos micotoxinas de potencial uso como armas biológicas, se llevó adelante en diferentes materiales y en solución acuosa, obteniéndose una completa inactivación de las toxinas solo en el segundo caso. [1]

Cultivos de lechugas y rábanos fueron regados con ClO_2 a bajas concentraciones mostrando que el crecimiento de las plantas no se vio afectado [1]. Incluso en el tratamiento de productos farmacéuticos y de cuidado personal mostró ser ventajoso debido que el uso de ClO_2 dio una baja en N-Nitrosodimetilamina, compuesto altamente carcinogénico que se da como producto secundario luego de tratamiento con sustancias cloradas. [1]

Por otro lado, concentraciones de 0.1 ppm son recomendadas y aceptadas por la Administración Americana de Seguridad Laboral y Salud (American Occupational Safety and Health Administration) para su uso en ambientes donde los seres humanos no corren riesgo alguno. El uso rutinario del dióxido de cloro como antiséptico es practicado en hospitales y en plantas de tratamiento de aguas principalmente. [1]

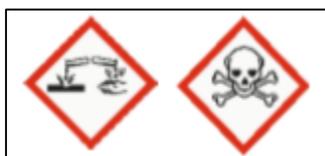
2.2. Toxicidad

Además de la solución hay una fase de gas que podría contener una concentración de dióxido de Cloro gas que es muy tóxico por inhalación causando graves daños a los pulmones, además de representar un peligro ambiental. Se forman vapores altamente tóxicos cuando la solución se pulveriza o en el caso de fugas. [5]

Puede ser corrosivo para los metales. Tóxico en caso de ingestión y provoca irritación ocular grave. [5]

Figura 2.

Peligrosidad Dióxido de Cloro.



Nota. Figura que muestra las ilustraciones de peligro que puede provocar el Dióxido de Cloro en la vida marina y en los seres humanos. Tomado de: BRENNTAG, «FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006,» BRE, 2015.

En la *Figura 2*, se puede mostrar los efectos tóxicos por ingesta de dióxido de cloro encontrados en diversos laboratorios, así también varios son los estudios pendientes para comprender su acción en otros órganos del ser humano. Las principales vías de intoxicación pueden ser divididas en tres: inhalación, oral y dérmica. Solamente se

conoce un caso de muerte por inhalación de vapor de ClO_2 (19 ppm) de un trabajador de una planta en un tanque de blanqueamiento. [5]

Animales de laboratorio sufrieron afecciones en tejido pulmonar luego de experimentos de exposición por vías aéreas a la sustancia blanqueadora, además de también haberse observado la muerte de más de uno de ellos, sometidos a tales experimentos. Los efectos sistémicos por inhalación de dióxido de cloro que destacan más son irritación del tracto respiratorio y capacidad pulmonar disminuida.[5]

2.3. Almacenamiento

Dado que el gas de ClO_2 es explosivo y tiende a descomponerse al calentarlo, no es adecuado para el almacenamiento y el transporte debido a su inestabilidad con el contacto con la atmósfera y la luz solar, generando la aplicación de recipientes especializados para su almacenamiento [6], por lo que generalmente se produce inmediatamente antes de su uso. [7]

Un método adecuado de realizar reacciones de obtención de ClO_2 in situ de manera controlada es poseer velocidades de reacción bajas, una manera efectiva de lograr cinéticas de reacción disminuidas es reducir las concentraciones de los reactivos de partida y aumentar los tiempos de reacción (Mo. Z.B. et al., 2015). [7]

2.4. Compatibilidad

Algo o alguien compatible con otro u otros objetos o sujetos, respectivamente; significa que no se rechazan, que pueden coexistir sin fricciones, contradicciones o enfrentamientos.[8] Lo contrario sería incompatible. Dos cosas son compatibles si pueden hacerse, practicarse o coexistir ambas sin afectarse; por el contrario, si no pueden presentarse en forma conjunta, se dice que son incompatibles.[8]

2.5. Potenciales eléctricos de diferentes desinfectantes

Figura 3.

Potenciales de los desinfectantes.



Nota. En la figura se muestra las diferencias entre el potencial de oxidación del Dióxido de Cloro con los demás desinfectantes. Tomado de: «Conceptos,» 2022. [En línea]. Available: <https://deconceptos.com/general/compatible>. [Último acceso: 17 Mayo 2022].

En comparación con los otros desinfectantes, el Dióxido de Cloro es 2,5 veces más eficiente que el Cloro debido a su alto potencial oxidante evidenciado en la *Figura 3*, por lo que se necesita menos uso de Dióxido de Cloro para generar la desinfección de efluentes, convirtiéndolo en uno de los desinfectantes ideales para el uso en el tratamiento de aguas y otros efluentes.

3. PRUEBAS DE COMPATIBILIDAD

3.1. Prueba de remojo

Para poder asegurar que un material es compatible con ciertas sustancias en particular, es necesario tener bases sólidas del tiempo de resistencia a la exposición de dicho material sin ninguna afección grave en sus propiedades físicas. [9]

En algunos laboratorios se puede adaptar una prueba de humectación de compatibilidad de materiales para poder simular una aplicación en el mundo real del material y la sustancia química seleccionada para el cliente interesado en la aplicación. En las pruebas de remojo, los parámetros y las variaciones de tiempo de exposición se seleccionan dependiendo de las condiciones que se quieran imitar del mundo real en la que se encuentra el material a lo largo de su ciclo de vida para poder así evaluar la compatibilidad y poder permitir que el cliente verifique si el material tiene la capacidad de resistencia a cualquier tipo de oxidante presente en el ambiente. [9]

La prueba de remojo consiste en sumergir un material completamente en la sustancia prueba durante un periodo de tiempo establecido a partir de la necesidad que se tenga a la hora de realizar la prueba, dichos periodos tienen ciclos variados para garantizar que el material siga siendo totalmente compatible durante todo el periodo de exposición. El cliente interesado en el proceso experimental puede determinar con tiempo de anticipación las formas de evaluar la prueba, sin embargo, es necesario generar un informe completo de todas las observaciones realizadas durante el periodo de exposición. [9]

Figura 4.

Prueba de remojo.



Nota. En la imagen se muestra una prueba de remojo hecha en un laboratorio especializado en desinfectantes. Tomado de: S. Ahmet, «EUROLAB,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.laboratuuar.com/es/testler/urun-yeterlilik-testleri/sivilar-ve-yakit-testi/>.

En la *Figura 4*, se puede mostrar la prueba de remojo, la cual, antes del inicio del primer rango de tiempo de exposición, todos los materiales se pesan, fotografían e inspeccionan estéticamente para determinar un estándar de la condición original del material. Dependiendo de la especificación del cliente quien patrocina el proceso de laboratorio, los pesos del material pueden tomarse de forma intermitente después de cada rango de tiempo o simplemente los pesos iniciales y finales de cada material. Las fotos finales se tomarán al final del último rango de tiempo y se enviarán junto con las fotos antes de la exposición. [9]

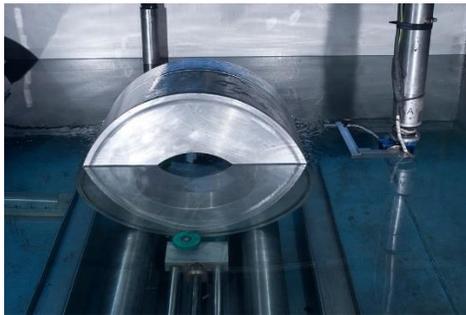
Todas las variaciones e interacciones únicas durante el estudio también serán documentadas, fotografiadas e incluidas en el informe final del estudio. Por lo general, se realiza una verificación de agua con el estudio, usándolo como base de comparación con los elementos de prueba, pero esto queda a discreción del cliente. [9]

3.2. Prueba de inmersión

Evalúa la viabilidad de duración de un material o producto cuando se sumerja en agua u otros líquidos. Esta prueba no se limita a la impermeabilización; otros factores, como tener cambios rápidos en la presión o la capacidad de resistencia como la exposición a productos químicos cáusticos, también puede ser parte de la prueba. [11]

Figura 5.

Prueba de inmersión.



Nota. En la imagen se muestra una prueba de inmersión industrial hecha para un tanque de acero en un laboratorio especializado. Tomado de: S. Ahmet, «EUROLAB,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.laboratuar.com/es/testler/cevresel-testler/suya-batirma-testi/>.

En la *Figura 5*, se muestran los laboratorios avanzados que cuentan con piscinas de profundidad y dimensiones ideales para la inmersión completa de la muestra para la prueba de inmersión. Dependiendo del propósito de la prueba, el agua de la piscina puede ser dulce o salada. Adicionalmente, la temperatura del agua debe estabilizarse en función de los entornos en los que se encontrará el material a ensayar en condiciones realistas. Para poder lograrlo es necesario un sistema de calefacción controlado en la piscina. Aparte de esto, el material o equipo a ensayar debe poder ser sometido a inmersión total o parcial. De esta manera, si el material o equipo es sumergido parcial o

totalmente en el líquido durante la prueba, los daños y fallas que ocurrirán se revelarán durante las pruebas. [13]

3.3. Ensayo de niebla salina

El procedimiento involucra el proceso de pulverizado de una solución salina sobre los diferentes materiales o muestras a ensayar. El presente procedimiento se hace en una cámara con temperatura controlada. [14]

Figura 6.

Ensayo de Niebla Salina.



Nota. En la figura se muestra una cámara salina para las pruebas de niebla salina. Tomado de: M. Comas, «PROQUIMIA,» PROQUIMIA, 27 03 2018. [En línea]. Available: <https://www.proquimia.com/ensayos-climaticos-de-corrosion-en-superficies-pintadas/>. [Último acceso: 10 02 2023].

En la *Figura 6* la sustancia seleccionada para realizar el medio es salina al 5% (Cloruro de Sodio (NaCl)). Las muestras (materiales) seleccionadas son introducidas en la cámara, posteriormente la solución salina es pulverizada como un tipo de niebla muy ligera y delgada sobre cada material. La temperatura interna de la cámara se mantiene a un nivel constante. Debido a la adición constante del pulverizado, las muestras se mantienen húmedas constantemente, y por eso están sujetas a una constante corrosión. [14]

3.4. Ensayos de corrosión en atmósfera urbana

Ensayo para el estudio del comportamiento de los diferentes materiales de ingeniería al proceso de corrosión generado por el ambiente atmosférico de zonas urbanas se basa principalmente en ensayos de exposición directa de los materiales en diferentes puntos o estaciones de un país, donde se mide la velocidad de corrosión. Los diferentes materiales son expuestos en forma de probeta. Por tiempos determinados que deben generar un promedio de la velocidad de corrosión en la atmosfera. [16]

Figura 7.

Ensayos de Corrosión en Atmósfera Urbana.



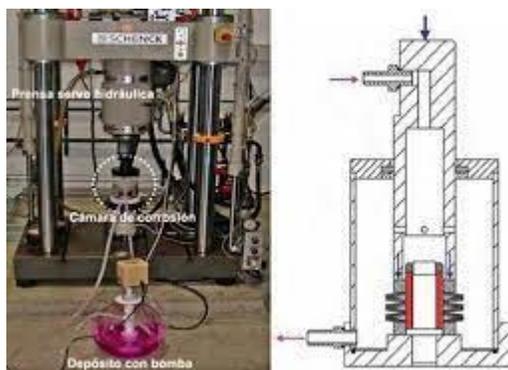
Nota. En la Figura se muestra resultados de algunos materiales expuestos a la atmósfera urbana. Tomado de: I. D. C. Y. PROTECCIÓN, «INSTITUTO DE CORROSIÓN Y PROTECCIÓN,» INSTITUTO DE CORROSIÓN Y PROTECCIÓN, 2013. [En línea]. Available: <https://icp.pucp.edu.pe/areas-de-trabajo/ensayos-especiales-de-corrosion/>. [Último acceso: 10 02 2023].

En la *Figura 7*, se muestra como las mediciones climatológicas, así como los contaminantes atmosféricos requieren estaciones permanentes acondicionadas con equipos e instrumentos de precisión, que en mayor parte de los países del mundo deben efectuarlo los centros de investigación oficiales alrededor del mundo. [16]

3.5. Ensayos de corrosión electroquímica

Los ensayos de resistencia a corrosión electroquímica con potenciostato tienen claras ventajas en comparación con los métodos tradicionales como la niebla salina, como la posible disminución del tiempo en el ensayo y un aumento en la reproductibilidad, obteniendo resultados cuantitativos y objetivos. Este ensayo está establecido según la norma ISO 17475:2005. [18]

Figura 8.
Ensayo de Corrosión Electroquímica.



Nota. En la imagen se muestra el montaje para hacer el ensayo de corrosión electroquímica. Tomado de: ARANDELAS, «ARANDELAS,» ARANDELAS , [En línea]. Available: <https://www.muellesdeplatillo.com/content/ensayos-con-fatiga>. [Último acceso: 10 02 2023].

La *Figura 8*, muestra el montaje final para la realización de las pruebas de corrosión por el método electroquímico, la cual se componen de un potenciostato y celdas eléctricas para generar un campo magnético electroquímico.

A partir del análisis de cada una de las pruebas mostradas anteriormente, uno de los limitantes para el desarrollo de las respectivas pruebas es la parte económica, por lo que es de suma importancia encontrar la prueba más eficiente y económica de las ya presentadas. Después de un efectivo análisis se escogió la prueba de inmersión debido a que es muy eficiente a la hora de usar Dióxido de Cloro frente a diferentes materiales y paralelamente es más económica debido a la disponibilidad de cada uno de los accesorios por parte de la empresa Egestec SAS.

4. CORROSIÓN

Es el proceso de degradación de ciertos materiales, como consecuencia de alguna reacción electroquímica, en otras palabras, de óxido-reducción, a partir de su entorno. [20]

Es un fenómeno natural, espontáneo, que afecta sobre todo a los metales. La velocidad de la reacción de oxidación depende de la temperatura a la que ocurre, así como de las propiedades de los involucrados, especialmente de su salinidad. [20]

Es un proceso de reacción química que suele depender de tres factores: el elemento corroído, el ambiente y generalmente, el agua. Sin embargo, existen sustancias corrosivas como los desinfectantes que tienen una capacidad corrosiva similar, en otras palabras, son capaces de producir la corrosión de los materiales con los que entren en contacto directo. [20]

En la industria metalúrgica se estudia la corrosión como un enemigo directo el cual es importante vencer por parte de sus productos, especialmente de los expuestos al medio ambiente, en piezas arquitectónicas o de construcción. De hecho, se estima que en pocos segundos se están perdiendo 5 toneladas de acero en el mundo entero debido a la corrosión del ambiente. [20]

Los metales dejados expuestos a la intemperie o al agua se corroen, ya que reaccionan con el oxígeno del aire o del agua, formando capas de óxido en la superficie de los mismos, que impiden a la reacción química continuar con su proceso. [20]. Sin embargo, esta capa de óxido es mecánicamente removida, dejando las capas más profundas del metal expuestas de nuevo al oxígeno, promoviendo la destrucción del material por completo. Este proceso es más rápido en ambientes salinos, ya que el cloruro de sodio actúa como catalizador de la reacción de oxidación. [20]

5. TIPOS DE CORROSIÓN

5.1. Corrosión química

Se produce cuando un material reacciona en un líquido o gas corrosivo (desinfectantes o agua), hasta disolverse por completo hasta generar una saturación del líquido. Esta corrosión puede ocurrir de diferentes maneras:

- **Ataque por metal líquido.** Sucede cuando un metal sólido y un metal líquido entran en contacto, y el primero es corroído en sus zonas débiles por el segundo. [20]
- **Lixiviación selectiva.** Se da cuando se da una corrosión selectiva en las aleaciones metálicas, dependiendo del desinfectante u oxidante, suelen atacar más que todo a los metales debido a su facilidad de formar óxidos que facilitan el proceso de oxidación. [20]
- **Ataque químico.** Sucede en reacciones químicas agresivas por medio de solventes poderosos, como los que son capaces de disolver polímeros, que son generalmente considerados resistentes a la corrosión (anticorrosivos). [20]
- **Corrosión electroquímica.** Generalmente ocurre en los metales, cuando sus átomos pierden electrones y se convierten en iones. Puede darse de distintas maneras: [20]
- ✓ **Corrosión microbiológica.** Cuando la ocasionan organismos vivos capaces de alterar la estructura química de los materiales, como bacterias, algas y hongos [20].
- ✓ **Corrosión galvánica.** Es la más intensa de todas, y ocurre cuando se genera una interacción entre distintos metales entre sí, y actúa uno como ánodo y otro como cátodo, y forma lo que se conoce como una pila galvánica [20].
- ✓ **Corrosión por aireación superficial.** Es también conocida como efecto Evans, se genera en superficies planas localizadas en ambientes húmedos y sucios, que proporcionan entornos electronegativamente cargados. [20]

5.2. Corrosión de las tuberías de aguas

Se da especialmente en aquellas metálicas, las cuales tienden a quebrarse en el tiempo y contaminar el agua con dosis de óxido, que le confieren un color negro o marrón. [20]

5.3. La herrumbre en los metales expuestos al agua

Se da en la chapa de la lavadora automática, o también en las puertas de los automóviles que son dejados en la playa, donde un ambiente salino acelera el proceso de oxidación y pronto se generan fisuras y manchas marrones en el material. [20]

5.4. El color de la estatua de la libertad

Su color original no tenía que ser verdusco, sino color cobre, material del cual está elaborada [20]. Al estar rodeada de agua y el aire genera oxidación en la misma, recubriéndola de un polvillo verde (óxido de cobre), producto de la corrosión. [20]

5.5. Corrosión de latas de conserva

Algunas latas que llevan mucho tiempo en la despensa comienzan a mostrar manchas pardas en algunas regiones, señal inequívoca de que la corrosión por medio del aire ha empezado a afectarlas [20].

5.6. Formas de evitar la corrosión

La pelea contra la corrosión ha sido un problema del día a día de las empresas de metalurgia, las cuales poseen diversos mecanismos para evitar o ralentizar estos procesos desintegradores de los metales, algunos de ellos son:

- **Recubrimientos.** Muchos metales son recubiertos por polímeros o plásticos, para evitar o reducir al mínimo la corrosión ambiental, aislándolos de su entorno en una sustancia más resistente a este tipo de reacciones [20]
- **Aleaciones.** Muchas combinaciones de metales le aportan al metal final una mayor resistencia a la corrosión, como ocurre con los aceros aleados con zinc. [20]
- **Inhibidores de corrosión.** Son sustancias químicas que poseen la propiedad de ralentizar o impedir el proceso natural de corrosión de ciertos materiales, por lo que solo es necesario sumergirlos en una película de los mismos para hacerlos más resistentes. [20]
- **Escogencia de materiales.** La opción más sencilla es la de seleccionar bien el material que se va a dejar expuesto al ambiente y cual no, y cuales emplear para obras expuestas a la intemperie o a la acción de agua. [20]

6. AGENTES OXIDANTES

Para poder entender la eficacia del Dióxido de Cloro, es necesario conocer a las demás sustancias que hacen parte del grupo de desinfectantes para la industria en general, los cuales son mostrados a continuación.

6.1. Peróxido de hidrógeno (C_2H_2)

El peróxido de hidrógeno (C_2H_2), también conocido como agua oxigenada, es un compuesto químico con características de un líquido altamente polar, fuertemente enlazado con el hidrógeno tal como el agua, que por lo general se presenta como un líquido ligeramente más viscoso que ésta. [21] Es conocido por ser un poderoso oxidante. [21]

A temperatura ambiente es un líquido incoloro con olor penetrante e incluso desagradable y sabor amargo. Pequeñas cantidades de peróxido de hidrógeno gaseoso se encuentran naturalmente en el aire. [21]

El peróxido de hidrógeno es muy inestable y se descompone lentamente en oxígeno y agua con liberación de gran cantidad de calor. Su velocidad de descomposición puede aumentar mucho en presencia de catalizadores. Aunque no es inflamable, es un agente oxidante potente que puede causar combustión espontánea cuando entra en contacto con materia orgánica o algunos metales, como el cobre, la plata o el bronce. [21]

El peróxido de hidrógeno se encuentra en bajas concentraciones (del 3 al 9 %) en muchos productos domésticos para usos medicinales y como blanqueador de vestimentas y el cabello. [21]

En la industria, el peróxido de hidrógeno se usa en concentraciones más altas para blanquear telas y pasta de papel, y al 90 % como componente de combustibles para cohetes y para fabricar espuma de caucho y sustancias químicas orgánicas. [21]

En otras áreas, como en la investigación, se utiliza para medir la actividad de algunas enzimas, como la catalasa. [21]

6.2. Hipoclorito de sodio (NaClO)

Se caracteriza por ser inestable y un fuerte oxidante. Se puede encontrar de forma líquida o anhidra, posee un olor penetrante y un color amarillento fuerte. Es una sal deshidratada que se descompone con el contacto con el aire y no es compatible con las sales de amonio, amoniaco, metales oxidables, etc. [22]

Es un producto químico muy conocido en Colombia debido a sus propiedades desinfectantes y su generación consiste en la dilución de sales en agua blanda la cual contiene concentraciones bajas de carbonatos de calcio y otros iones, que luego es electrolizado. [22]

Las soluciones comerciales de Hipoclorito Sódico, la cual está más o menos entre 9 – 15% de Cloro activo son estabilizadas con Hipoclorito de Sodio. Esto y su fuerte poder oxidante le hacen muy corrosivo para muchos materiales de construcción. [23]

6.3. Ozono (O₃)

El ozono (O₃) es gas formado por tres átomos de oxígeno. Es un oxidante extremadamente potente, una sustancia peligrosa con graves efectos para la salud, ya que es mortal si se inhala, provoca quemaduras graves en la piel y daños oculares, daña los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas, es muy tóxica para la vida acuática, con efectos duraderos, puede causar o intensificar el fuego (debido a su poder oxidante) y causar lesiones oculares graves. Además, se encuentra en evaluación como alterador endocrino. [24]

Tiene efectos corrosivos en la pintura, los géneros textiles, cauchos y plásticos. Sin embargo, dichos daños normalmente son limitados, bien porque sean materiales resistentes por haber sido tratados con medidas preventivas (incorporación de antioxidantes), o simplemente porque la vida útil de los materiales, en cualquier caso, es bastante corta. [24]

6.4. Ácido hipocloroso (HOCl)

El ácido hipocloroso (HOCl) es un potente antimicrobiano no antibiótico utilizado en medicina clínica para el control de infecciones y reparación de heridas. El HOCl es sintetizado por células del sistema inmune para el control del agente patógeno durante

la fagocitosis y ha sido sintetizado y estabilizado en el laboratorio con potenciales aplicaciones profilácticas y terapéuticas en medicina humana. El efecto antimicrobiano, antiinflamatorio y en la proliferación celular lo hacen una sustancia que debe ser más evaluada para uso clínico en otras áreas de salud [25]. Existe un interés en el desarrollo de nuevas sustancias antimicrobianas de uso tópico en odontología para el control del biofilm dental, la inflamación gingival y para la cicatrización de heridas de la mucosa oral. Se presenta una revisión de la literatura de los principales efectos del HOCl que sustentan su investigación y uso en odontología. [25]

Es un ácido débil que se forma cuando el cloro elemental se disuelve en el agua y se mantiene dentro de un rango de pH definido, entre 3 - 6,5 pH. Fuera de este rango el HClO se disocia parcialmente, formando hipocloritos (ClO). El ácido hipocloroso es reconocido como el desinfectante más eficaz, seguro y biológico de la familia del cloro. [25]

En un estudio realizado en la década de 1940 se investigaron los niveles de inactivación en función del tiempo. Los resultados del estudio indicaron que el ácido hipocloroso es más eficaz que el hipoclorito de sodio, para la inactivación de estas bacterias. Estos resultados han sido confirmados por varios investigadores que concluyeron que el ácido hipocloroso es 70 u 80 veces más efectivo que el hipoclorito de sodio para la eliminación de las bacterias y gérmenes. El ácido hipocloroso es una molécula metaestable. Ya que puede convertir el agua dulce en salada o convertirse en hipoclorito de sodio. [26]

7. MATRIZ DE COMPATIBILIDAD DE PRODUCTOS QUÍMICOS

Es un documento en el que se establece la afinidad entre sustancias y mezclas químicas con base en la clase y el tipo de sustancia, a fin de conocer cómo se deben almacenar y transportar estos artículos sin que representen algún tipo de peligrosidad para la empresa o sus colaboradores, de acuerdo con el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de productos Químicos (SGA). [27]

La matriz de compatibilidad de sustancias químicas es una guía para el adecuado almacenamiento de los productos químicos [27]. Además, se debe tener presente que la adopción de esta matriz es una decisión voluntaria de cada empresa, ya que no está regulada en la normatividad vigente. [27]

Existen diferentes técnicas para establecer si las sustancias químicas son compatibles entre sí, una de las más usadas es la técnica de semáforo, según que:

- Verde significa que las sustancias y mezclas pueden ser almacenadas juntas y que se debe verificar su compatibilidad utilizando las Fichas de Datos de Seguridad (FDS) de cada una. [27]
- Amarillo indica que existen restricciones para el almacenamiento de las sustancias y mezclas, razón por la que se deben revisar a incompatibilidades o condiciones específicas de almacenamiento en las FDS individuales. [27]
- Rojo señala que las sustancias y mezclas deben ser almacenadas por separado, dado que son incompatibles. [27]

8. NORMATIVIDAD DE MATRIZ DE COMPATIBILIDAD

Si bien no existe una norma en riesgos laborales que establezca la obligación de realizar una matriz de compatibilidad o incompatibilidad de productos químicos para los empleadores o contratantes en Colombia, sí hay unas Guías Técnicas que las empresas pueden adoptar voluntariamente [28]. En ellas, se detallan las características y especificaciones para el transporte de sustancias peligrosas. [28]

Algunas de estas guías son:

- Norma Técnica Colombiana NTC 3966:1996 [28]
- Norma Técnica Colombiana NTC 3967:1996 [28]

La matriz de compatibilidad está directamente ligada al comportamiento de los materiales respecto al tiempo de contacto directo con una sustancia en específico, a partir de los diferentes resultados obtenidos en las diferentes pruebas se logra una construcción más sólida de la tabla de compatibilidad, sin embargo, dichos resultados y tablas serán mostrados más adelante en la sección de resultados.

8.1. Resolución 777 de 2021 del ministerio de salud y protección social

Que el artículo 49 de la Constitución Política determina, entre otros aspectos, que “toda persona tiene el deber de procurar el cuidado integral de su salud y la de su comunidad” y el artículo 95 del mismo ordenamiento dispone que las personas deben "obrar conforme al principio de solidaridad social, respondiendo con acciones humanitarias, ante situaciones que pongan en peligro la vida o la salud". [29]

Que la Ley 1751 de 2015, por medio de la cual se regula el derecho fundamental a la salud dispone en su artículo 5 que el “Estado es responsable de respetar, proteger y garantizar el goce efectivo de ese derecho, como uno de los elementos esenciales del Estado Social de Derecho”, y en su artículo 10 enuncia como deberes de las personas los de "propender por su autocuidado, el de su familia y el de su comunidad" y de "actuar de manera solidaria ante situaciones que pongan en peligro la vida y la salud de las personas". [29]

Que la Ley 9 de 1979 destaca en su Título VII que corresponde al Estado como “regulador en materia de salud, expedir las disposiciones necesarias para asegurar una

adecuada situación de higiene y seguridad en todas las actividades” y en su artículo 598 establece que, "toda persona debe velar por el mejoramiento, la conservación y la recuperación de su salud personal y la salud de los miembros de su hogar, evitando acciones y omisiones perjudiciales y cumpliendo las instrucciones técnicas y las normas obligatorias que dicten las autoridades competentes ". [29]

9. RESOLUCIONES AMBIENTALES DE MANEJO DE SUSTANCIAS TÓXICAS

9.1. Resolución 773 de 2021

Define las acciones que deben cumplir frente a la aplicación del Sistema Globalmente Armonizado SGA en los lugares de trabajo [30]. Especialmente frente a la clasificación y comunicación de los peligros asociados al uso de los productos químicos, con el fin de proteger y velar por a la salud de los colaboradores. [30]

Tiene como objeto definir las acciones que deben desarrollar los empleadores en los lugares de trabajo para la aplicación del SGA, en relación con la clasificación y la comunicación de peligros de los productos químicos, a fin de velar por la protección y salud de los trabajadores, las instalaciones y el ambiente frente al uso y manejo de estos, las responsabilidades que estos deben asumir junto con los trabajadores y las administradoras de riesgos laborales para su implementación, así como recomendar otras fuentes de información confiables a las que deberán acudir los empleadores para la clasificación de peligro de los productos químicos que han sido referenciados en el SGA. [31]

La presente resolución es aplicable a los empleadores públicos y privados, a los contratantes de personal bajo modalidad de contrato civil, comercial o administrativo, a los trabajadores dependientes e independientes, contratistas, aprendices, practicantes, cooperador de cooperativas o precooperativas de trabajo asociado, afiliados participes, que manipulen productos químicos en los lugares de trabajo, ya sean sustancias químicas puras, soluciones diluidas o mezclas de estas. [31]

9.2. Resolución 0312 de 2019

«Artículo 33: Prevención de accidentes en industrias mayores. Las empresas fabricantes, importadoras, distribuidoras, comercializadoras y usuarios de productos químicos peligrosos, deberán tener un programa de trabajo con actividades, recursos, responsables, metas e indicadores para la prevención de accidentes en industrias mayores, con la respectiva clasificación y etiquetado de acuerdo con el Sistema Globalmente Armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos, observando todas sus obligaciones al respecto y dando cumplimiento a la ley 320 de 1996, el Decreto 1496 de 2018 y demás normativas vigentes sobre la materia. » [30]

Establece que «el trabajo es un derecho y una obligación social que goza en todas sus modalidades, de la especial protección del estado y que así mismo, toda persona tiene derecho a un trabajo en condiciones dignas. » [32]

Determina que para efectos de operar el sistema de garantía de calidad del sistema general de riesgos laborales que deberán cumplir los integrantes de dicho sistema general, se realizaran visitas de verificación del cumplimiento de los estándares mínimos del sistema de garantía, que se realizaran en forma directa o a través de terceros idóneos seleccionados por el ministerio del trabajo de acuerdo con la reglamentación que expida al respecto, priorizando las empresas con mayores tasas de accidentalidad y muertes. [31]

Define el sistema de estándares mínimos como el conjunto de normas, requisitos y procedimientos de obligatorio cumplimiento mediante los cuales se establece, registra, verifica y controla el cumplimiento de las condiciones básicas de capacidad tecnológica y científica; de suficiencia patrimonial y financiera; y de capacidad técnico-administrativa, indispensables para el funcionamiento, ejercicio y desarrollo de actividades de los diferentes actores en el sistema general de riesgos laborales, los cuales buscan dar seguridad de los usuarios frente a los potenciales riesgos asociados a la atención, prestación, acatamiento de obligaciones, derechos, deberes, funciones y compromisos en SST y riesgos laborales. [31]

9.3. Decreto 1496 de 2018

Adopta el sistema Globalmente Armonizado SGA sexta edición del año 2015, para ser aplicada en toda Colombia, para quienes desarrollen la extracción, producción, importación, almacenamiento, transporte, distribución, comercialización y los diferentes usos de los productos químicos. [30]

«Consagra normas tendientes a la protección de la salud de los trabajadores en los lugares de trabajo, buscando prevenir todo daño proveniente de la producción, manejo y almacenamiento de sustancias químicas mediante la adopción de medidas como, entre otras, el etiquetado para la clasificación y comunicación de los peligros. » [33]

Que en el marco del proceso de adhesión de Colombia a la Organización para la cooperación y el desarrollo económico (OCDE), se han formulado recomendaciones al país relativas a la incorporación de instrumentos para la gestión de químicos industriales y la prevención de los accidentes mayores. [33]

«La organización de las naciones unidas (ONU), con participación de la organización internacional de trabajo (OIT) y la organización para la cooperación y el desarrollo económico (OCDE), han desarrollado el sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos (SGA), el cual fue aprobado por el consejo económico y social de las naciones unidas en el año 2002, con el objetivo de normalizar y armonizar la clasificación y la comunicación de peligros de los productos químicos.» [33]

A través del SGA los criterios para clasificar los productos químicos han sido armonizados y así mismo, las indicaciones de peligro, los símbolos y las palabras de advertencia se han normalizado y ahora constituyen un sistema integrado de comunicación de peligros, dando las pautas y lineamientos para el etiquetado de los productos químicos, así como para la creación de fichas de datos de seguridad. [33]

9.4. Decreto 1609 de 2002

(Compilado en el Decreto 1079 de 2015) «Reglamenta el manejo y transporte terrestre de mercancías peligrosas por carretera de acuerdo con las definiciones y clasificaciones según la NTC 1692 clasificación, rotulado y etiquetado de sustancias químicas.» [30]

El presente decreto tiene por objetivo:

«Establecer los requisitos técnicos y de seguridad para el manejo y transporte de mercancías peligrosas por carretera en vehículos automotores en todo el territorio nacional, con el fin de minimizar los riesgos, garantizar la seguridad y proteger la vida y el medio ambiente, de acuerdo con las definiciones y clasificaciones establecidas en la Norma Técnica Colombiana NTC 1692 “Transporte de mercancías peligrosas, clasificación, etiquetado y rotulado”, segunda actualización – Anexo No. 1. » [34]

Aplica al transporte terrestre, y manejo de mercancías peligrosas, los cuales comprenden todas las operaciones y condiciones relacionadas con la movilización de estos productos, la seguridad en los envases y embalajes, la preparación, envío, carga, segregación, transbordo, trasiego, almacenamiento en tránsito, descarga y recepción en el destino final. El manejo y transporte se considera tanto en condiciones normales, como las ocurridas en accidentes que se produzcan durante el traslado y almacenamiento en tránsito. [34]

Cuando se trate de transporte de desechos peligrosos objeto de un movimiento transfronterizo, se debe dar aplicación en lo dispuesto en el convenio de Basilea, ratificado por la ley 253 de 1996. [34]

El presente reglamento «aplica a todos los actores que intervienen en la cadena del transporte, es decir el remitente y/o dueño de la mercancía, destinatario (personas que utilizan la infraestructura del transporte de acuerdo con lo establecido en el artículo 9º de ley 105 de 1993), empresa transportadora, conductor del vehículo y propietario o tenedor del vehículo de transporte de carga.» [34]

9.5. Decreto 1973 de 1995

«Promulga el convenio 170 sobre la seguridad en la utilización de los productos químicos en el trabajo, frente a la obligación que tienen los empleadores de proporcionar fichas de datos de seguridad que contengan información sobre identificación, proveedor, clasificación, peligrosidad, medidas de precaución y los procedimientos de emergencia. La denominación utilizada para identificar el producto químico en la ficha de datos de seguridad deberá ser la misma que la que aparece en la etiqueta.» [30]

El presente convenio se aplica a todas las ramas de actividad económica en las que se utilizan productos químicos. Previa consulta con las organizaciones más representativas de empleadores y de trabajadores interesados, y sobre la base de una evaluación de los peligros existentes y de las medidas de protección que hayan de aplicarse, la autoridad competente de todo miembro que ratifique el convenio. [35]

El convenio no se aplica a los artículos que, bajo condiciones de utilización normales o razonablemente previsibles, no exponen a los trabajadores a un producto químico peligroso. El convenio no se aplica a los organismos, pero si se aplica a los productos químicos derivados de los organismos. [35]

9.6. Ley 55 de 1993

Con esta norma se aprueba el convenio 170 y la recomendación 177 sobre la seguridad en la utilización de los productos químicos en el trabajo [36]. La cual, establece a los productos químicos los criterios para la clasificación, etiquetado, fichas de seguridad, entre otros. [36]

“Los trabajadores deberán tener el derecho de apartarse de cualquier peligro derivado de la utilización de productos químicos cuando tengan motivos razonables para crear que existe un riesgo grave e inmediatamente para su seguridad o su salud, y deberán señalarlo sin demora a su supervisor.” [37]

“Los trabajadores que se aparten de un peligro, de conformidad con las disposiciones del párrafo anterior, o que ejerciten cualquier otro derecho de conformidad con este convenio, deberán estar protegidos contra las consecuencias injustificadas de este acto.” [37]

Se han formulado recomendaciones al país relativas a la incorporación de instrumentos para la gestión de químicos industriales y la prevención de los accidentes mayores. “Es de gran importancia adoptar un sistema de clasificación de sustancias químicas que permita contar con herramientas para la identificación y comunicación de sus peligros, como herramienta para la prevención de los potenciales efectos que estas puedan tener sobre la salud humana y el ambiente.” [37]

Que la organización de naciones unidas (ONU), con participación de la organización internacional del trabajo (OIT) y la organización para la cooperación y el desarrollo económico (OCDE), han desarrollado el sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos (SGA), el cual fue aprobado por el consejo económico y social de las naciones unidas en el año 2002, con el objetivo de

normalizar y armonizar la clasificación y la comunicación de peligros de los productos químicos. [37]

Que a través del SGA los criterios para clasificar los productos químicos han sido armonizados y así mismo, las indicaciones de peligro, los símbolos y las palabras de advertencia se han normalizado y ahora constituyen un sistema integrado de comunicación de peligros, dado las pautas y lineamientos para el etiquetado de los productos químicos, así como para la creación de fichas de datos de seguridad. [37]

Cuando en un estado miembro exportador la utilización de productos químicos peligrosos ha sido total o parcialmente prohibida por razones de seguridad y salud en el trabajo, dicho estado deberá llevar ese hecho y las razones que lo motivan al conocimiento de todo país al que exporta. [37]

9.7. UNE-EN ISO 11885:2010

Calidad del agua. Determinación de elementos seleccionados por espectrometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) (ISO 11885:2007) [38]

En ISO 11885, norma EN ISO 11885, aluminio, antimonio, arsénico, bario, berilio, bismuto, boro, cadmio, calcio, cromo, cobalto, cobre, galio, indio, hierro, plomo, litio, magnesio, manganeso, molibdeno, níquel, fósforo, potasio, selenio, silicio, plata, sodio, estroncio, azufre, estaño, titanio, tungsteno, vanadio, zinc y elementos de circonio para elementos ligados a partículas y en diferentes tipos de agua (subterránea, superficial, cruda, potable, y aguas residuales) especifica un método para determinar el contenido total de elementos. [39]

Teniendo en cuenta las interferencias específicas y adicionales, estos elementos también pueden identificarse en la digestión de agua, lodos y sedimentos. Las personas que utilicen esta norma internacional deben estar familiarizados con las prácticas normales de laboratorio. Esta norma internacional no pretende abordar todos los problemas de seguridad, si los hubiere, asociados con su uso [39]. Es responsabilidad del usuario establecer prácticas adecuadas de seguridad y salud y garantizar el cumplimiento de los requisitos reglamentarios nacionales. [39]

Es absolutamente esencial que las pruebas de esta norma internacional sean realizadas por personal debidamente capacitado. [39]

9.8. Guía ISO 30

Términos y definiciones utilizados en relación con los materiales de referencia. [40]

La Guía ISO 30 fue redactada por el comité ISO sobre materiales de referencia (REMCO), la cual concierne con las directrices para la “preparación, certificación y uso de materiales de referencia y materiales de referencia certificados. La primera edición de esta guía (1981) fue el resultado de la colaboración entre REMCO y las organizaciones EEC, IAEA, OIML, IUPAC, IFCC y WHO y fue producida la mayor parte por el Dr. D. A. Lowe de WHO.” [41]

9.9. ISO 3696

Agua para uso en análisis de laboratorio. Especificación y métodos de ensayo. [40] Esta norma internacional “especifica los requisitos y los métodos de ensayo correspondientes para tres grados de agua para uso en laboratorio para el análisis de productos químicos inorgánicos.” [42]

“No es aplicable al agua para análisis de trazas orgánicas, al agua para análisis de agentes tensoactivos o al agua para análisis biológico o médico.” Para algunos propósitos (por ejemplo, para ciertos métodos analíticos o para pruebas en las que se requiere que el agua sea estéril o libre de pirógenos o de una tensión superficial específica), pueden ser necesarias pruebas específicas adicionales y una mayor purificación u otro tratamiento. [42]

Especifica tres grados. Requisitos y métodos de prueba para, valor de pH, conductividad eléctrica, materia oxidable, absorbancia, residuo después de la evaporación y contenido de sílice. [42]

9.10. ISO 5667-1

Calidad del agua. Muestreo. Parte 1: Guía para el diseño de los programas de muestreo y técnicas de muestreo. [40]

“Establece los principios generales y brinda orientación sobre el diseño de programas de muestreo y técnicas de muestreo para todos los aspectos del muestreo de agua (incluidas las aguas residuales, lodos, efluentes, sólidos en suspensión y sedimentos).” [43]

No incluye instrucciones detalladas para situaciones de muestreo específicas, que están cubiertas en las otras partes de la norma ISO 5667 y la norma ISO 19458. [43]

9.11. ISO 7027

Calidad del agua. Determinación de la turbiedad. [40]

Especifica dos métodos cuantitativos que utilizan turbidímetros ópticos o nefelómetros para la determinación de la turbidez del agua [44]:

- Nefelometría, procedimiento para la medición de la radiación difusa, aplicable a aguas de baja turbidez (por ejemplo, agua potable). [44]
- Turbidimetría, procedimiento para medir la atenuación de un flujo radiante, más aplicable a aguas muy turbias (por ejemplo, aguas residuales u otras turbias). [44]
- La turbidez medidas según primer método se presentan como unidades de turbidez nefelométrica (NTU) [44]. Los resultados suelen oscilar entre <0.05 NTU y 400 NTU. Dependiendo del diseño del instrumento, también puede ser aplicable a aguas de mayor turbidez. Existe equivalencia numérica de las unidades NTU y unidad nefelométrica de formazina (FNU). [44]
- La turbidez medida por el segundo método se expresa en unidades de atenuación de formazina (FAU); los resultados suelen oscilar entre 40 FAU y 4000 FAU. [44]

9.12. ISO 15587-1

Calidad del agua. Procedimiento de digestión para la determinación de ciertos elementos en agua. Parte 1: Digestión en agua regia. [40]

“Especifica un método para extraer oligoelementos de una muestra de agua utilizando agua regia como agente de digestión.” [45] “El método es aplicable a todo tipo de aguas con una concentración másica de sólidos en suspensión inferior a 20 g/L y una concentración másica de carbono orgánico total (COT) expresado en carbono inferior a 5 g/L.” [45]

El método de digestión con agua regia es empírico y es posible que no libere los elementos por completo. Sin embargo, para la mayoría de las aplicaciones ambientales, el resultado es adecuado para su propósito. [45]

«La digestión con agua regia es adecuada para la liberación de: Ag, Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Se, Sn, Sr, Tl, V, Zn. No es adecuado para la digestión de compuestos refractarios como SiO_2 , TiO_2 y Al_2O_3 . La presencia de cloruro en la solución de digestión puede limitar la aplicación de técnicas analíticas.» [45]

El método es genérico y se puede implementar utilizando una amplia variedad de equipos siempre que la composición de la digestión no cambie, se conozca la temperatura de la digestión y la duración de la digestión este de acuerdo con esta temperatura. [45]

9.13. ISO 15587-2

Calidad del agua. Procedimiento de digestión para la determinación de ciertos elementos en agua. Parte 2: Digestión en ácido nítrico. [40]

“Especifica un método para extraer oligoelementos de una muestra de agua usando ácido nítrico como agente de digestión. El método es aplicable a todo tipo de aguas con una concentración de sólidos en suspensión inferior a 20 g/L y una concentración de carbono orgánico total (COT) expresada en carbono inferior a 5 g/L.” [46]

“El método de digestión con ácido nítrico es empírico y es posible que no libere elementos por completo. Sin embargo, para la mayoría de las aplicaciones ambientales, el resultado es adecuado para su propósito.” [46]

«La digestión con ácido nítrico es adecuada para la liberación de Al, AS, B, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Se, Sr, Tl, V, Zn. Es adecuado para la liberación de Ag solo si la muestra se estabiliza inmediatamente después de la digestión. La digestión con ácido nítrico no es adecuada para Sb, Sn y para la digestión de compuestos refractarios como SiO_2 , TiO_2 y Al_2O_3 .» [46]

El método es genérico y se puede implementar utilizando una amplia variedad de equipos siempre que la composición de la digestión no cambie, se conozca la temperatura de la digestión y la duración de la digestión este de acuerdo con esta temperatura. [46]

10. TÉCNICAS DE MEDICIÓN DE PRESENCIA DE METALES EN SOLUCIONES

10.1. ICP/OES/AES

Espectroscopía de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente. Proporciona una rápida identificación y detección de contenido de trazas de metal en productos petrolíferos y químicos. [47]

Es una de las técnicas experimentales más utilizadas para la detección específica de moléculas. Se caracteriza por su precisión, sensibilidad y su aplicabilidad a moléculas de distinta naturaleza (contaminantes, biomoléculas, etc.) y estado de agregación (sólido, líquido, gas). Los fundamentos físico-químicos de la espectrofotometría son relativamente sencillos. [48]

Las moléculas pueden absorber energía luminosa y almacenarla en forma de energía interna. Esto permite que se inicien ciclos vitales de muchos organismos, entre ellos el de la fotosíntesis en plantas y bacterias. [48]

Los espectros de absorción se miden mediante un instrumento denominado espectrómetro. Los instrumentos que se usan constan de una fuente de luz “blanca” caracterizada por un espectro de emisión continuo en un intervalo amplio de longitudes de onda (para este caso 325 nm – 900 nm) y de un monocromador que actúa como filtro óptico transmitiendo un haz de luz de longitud de onda fija e intensidad. [48]

11. TÉCNICAS DE MEDICIÓN DE PRESENCIA DE CORROSIÓN

11.1. LPR (Resistencia a la polarización lineal)

mediante la determinación de la LPR se puede calcular la velocidad de corrosión de un metal en contacto con un electrolito. La técnica de resistencia de polarización lineal, se basa en que, bajo determinadas condiciones, en el entorno del potencial de corrosión se verifica una relación lineal entre el potencial aplicado al metal y la corriente que circula en el sistema polarizado. [49]

La pendiente de la recta en el potencial de corrosión, $\Delta E/\Delta I$, descontada la resistencia óhmica del medio, se denomina resistencia de polarización (R_p) [49]. La densidad de corriente de corrosión (y por lo tanto la velocidad de corrosión) es inversamente proporcional a la resistencia de polarización, según la siguiente *Ecuación 1*:

Ecuación 1. Velocidad de corrosión. [49]

$$\text{Velocidad de corrosión} = \frac{k * B}{R_p}$$

donde la constante k depende de las unidades con que se quiera expresar la velocidad de corrosión y la constante B depende del sistema metal/medio corrosivo. Las mediciones de RPL son una manera rápida y precisa de medir la tasa de corrosión general. Suele utilizarse como monitoreo de la corrosión en tiempo real, para clasificar aleaciones, inhibidores, etc., en orden de resistencia a la corrosión general y para realizar ensayos de aptitud de materiales. [49]

11.2. EIS (Espectroscopía de impedancia eléctrica)

La espectroscopia de impedancia eléctrica (EIE) es una técnica que permite analizar las propiedades eléctricas de materiales, incluso biológicos, al inducir señales eléctricas alternas a diferentes frecuencias y medir las señales de respuesta [50]. Se ha utilizado para determinar la madurez en frutos, identificar adulteraciones en productos cárnicos y lácteos, determinar propiedades físico-químicas en todo tipo de matrices alimentarias, incluso para cuantificar microorganismos presentes en alimentos y en superficies de trabajo, se puede utilizar también para la determinación de posibles corrosiones presentes en los materiales. [50]

Esta técnica es segura, no invasiva, rápida, portátil, de bajo costo y fácil de usar, lo que la convierte en un método con un gran potencial para ser usado en la industria de alimentos, con el fin de monitorear y controlar los procesos de calidad. [50]

11.3. TAFEL

Microscopio de alta resolución (análisis de corrosión morfológica).

Figura 9.

Microscopio TAFEL.



Nota. En la imagen se muestra un Microscopio de alta resolución usado en laboratorios industriales avanzados. Tomado de: EC, «El Confidencial,» 03 Septiembre 2020. [En línea]. Available: https://www.elconfidencial.com/decompras/2020-09-03/mejores-10-microscopios-del-mercado_2722703/.

En la Figura 9, se puede evidenciar un microscopio TAFEL, el cual está compuesto por un puerto de cámara delicado, lo que lo hace ideal para la instrucción clínica, grandes conferencias de ciencias, y compilación de libros de texto. Destaca sobre los demás microscopios debido a su cabeza Siedentopf profesional en SW380T, que es totalmente giratoria para poder ser compartido y está equipada con oculares de vidrio intercambiables de vista 10X y 25X de campo amplio fijados con una inclinación

ergonómica de 30° para evitar una tensión en cuello. Es muy sencillo su ajuste para diferentes distancias sin un posible desenfoque. [51]

Este tipo de microscopio es utilizado para el análisis profundo de los cuerpos sólidos y poder analizar su comportamiento antes y después de la exposición a algún cualquier desinfectante u oxidante.

11.4. Espectrofotometría

La Espectrofotometría es una de las técnicas experimentales más utilizadas para la detección específica de moléculas. Se caracteriza por su precisión, sensibilidad y su aplicabilidad a moléculas de distinta naturaleza (contaminantes, biomoléculas, etc.) y estado de agregación (sólido, líquido, gas). Los fundamentos físico-químicos de la espectrofotometría son relativamente sencillos. [52]

Figura 10.
Espectrofotómetro.



Nota. En la imagen se muestra un espectrofotómetro usado en laboratorios especializados en desinfectantes y químicos en general. Tomado de: Quirumed, «Quirumed,» 2022. [En línea].

En la *Figura 10*, se muestra un espectrofotómetro, donde las moléculas pueden absorber energía luminosa y almacenarla en forma de energía interna. Esto permite que se inicien ciclos vitales de muchos organismos, entre ellos el de la fotosíntesis en plantas y bacterias. La Mecánica Cuántica define que la luz está compuesta de fotones cada uno

de los cuáles tiene una energía, calculada en la *Ecuación 2*: [52]

Ecuación 2. Mecánica Cuántica del haz de luz. [52]

$$E_{\text{fotón}} = h \times \nu = h * c/\lambda,$$

donde c es la velocidad de la luz, ν es su frecuencia, λ su longitud de onda y $h = 6,6 \times 10^{-34}$ J/s es la constante de Planck. Cuando se dice que una sustancia química absorbe luz de longitud de onda λ , esto significa que las moléculas de esa sustancia absorben fotones de esa longitud de onda. [52]

Gracias a esta técnica se puede estudiar la absorción de luz en el ultravioleta cercano ($\lambda = 325 - 420$ nm) y en el visible ($\lambda = 420 - 900$ nm). [52]

Esta técnica es más usada para análisis de sustancias y la cantidad de contaminantes que esta misma puede presentar.

12. MATERIALES

Para la selección de los diferentes materiales que se mostrarán a continuación, se tuvieron en cuenta los aspectos que favorecen a los procesos que la empresa Egestec SAS genera para la respectiva dosificación del Dióxido de Cloro. Durante el proceso de generación y dosificación del Dióxido de Cloro la empresa cuenta con tecnología la cual cuenta con un reactor a base de PVC SCH 80 y una capa adicional de fibra de vidrio para la contención de la sustancia, adicionalmente las partes del reactor son hechas de diferentes aceros los cuales van incluidos INOX 304, 316 y acero al carbono. Debido a que estos materiales componen en su totalidad la estructura del generador, se seleccionaron para la realización de las pruebas del presente proyecto.

Tabla 1.

Tipos de Aceros conocidos en la Industria.

ACEROS INOXIDABLES - AISI			
Tipos de acero	Aceros típicos	Composición básica (%)	Características
Austeníticos	304	18Cr – 8Ni	Excelente resistencia a la corrosión.
	316	18Cr – 12Ni – 2,5Mo	Mayor resistencia a la corrosión que el 304 en medios salinos.
Ferríticos	430	16Cr	Resistencia a la corrosión moderada.
	409	11Cr	Resistencia a la oxidación en altas Temperaturas
Martensíticos	420	12Cr	Dureza elevada, alta resistencia mecánica pero menor resistencia a la corrosión.

Nota. En la tabla se muestra los diferentes tipos de aceros y sus respectivas composiciones y características. Tomado de: V. Gómez, «CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS,» Facultad Regional Tucumán.

Como se puede observar en la *Tabla 1*, la industria cuenta con una gran cantidad de aceros diferentes dirigidos para funciones específicas que satisfacen los procesos industriales de los diferentes sectores de la industria. Sin embargo, para poder diferenciarlos con los demás alrededor del mundo, es necesario analizar sus composiciones y características.

De todos los aceros presentes en el mundo, dos de los más conocidos son el acero INOX 304 y acero INOX 316, debido a su alta resistencia a la corrosión (debido a sus componentes claves como el Cromo y Níquel, y en el caso del INOX 316 una adición de Molibdeno, aportando más resistencia a la corrosión en su estructura molecular) haciéndolos útiles en muchos procesos industriales como almacenamiento de ácidos, desinfectantes, etc.

Sin embargo, al analizar los aceros producidos en las siderúrgicas colombianas (como Acerías Paz del Río), uno de los aceros más producidos en el país acompañando al INOX 304 y 316, es el acero al carbono, un tipo de acero resistente a procesos mecánicos, lo que lo hace útil para el sector de construcción.

Gracias a lo antes mencionado, se tomó la decisión de seleccionar estos tres tipos de aceros para las pruebas acompañando al PVC SCH 80 y la fibra de vidrio, los cuales, serán presentados a continuación.

12.1. INOX 304

El acero inoxidable 304 es la forma más común de acero inoxidable usada en el mundo, en gran medida debido a su excelente resistencia a la corrosión y a su valor. Este contiene entre 16 y 24 por ciento de cromo y hasta 35 por ciento de níquel, como también pequeñas cantidades de carbón y manganeso. [55]

La forma más común de acero inoxidable 304 es el acero inoxidable 18-8, el cual contiene 18 por ciento de cromo y 8 por ciento de níquel. [55]

El 304 puede resistir la corrosión de los ácidos más oxidantes. Esa durabilidad hace al 304 fácil de desinfectar y por lo tanto ideal para aplicaciones de cocina y alimentos [55]. También es común en edificios, decoraciones y amoblado de sitios. [55]

El acero inoxidable 304 tiene una debilidad: es susceptible a la corrosión por soluciones de cloruro, o por ambientes salinos como las zonas costeras. Los iones de cloruro pueden crear áreas localizadas de corrosión, llamadas “picaduras”, las cuales pueden expandirse por debajo de las barreras protectoras de cromo para comprometer las estructuras internas [55]. Las soluciones con tan poco como 25 ppm de cloruro de sodio pueden empezar a tener un efecto corrosivo. [55]

12.2. INOX 316

El grado 316 es la segunda forma más común de acero inoxidable. Este tiene casi las mismas propiedades físicas y mecánicas que el acero inoxidable 304 y contiene un material de composición similar [55]. La diferencia clave es que el acero inoxidable 316 incorpora cerca de 2 a 3 por ciento de molibdeno. La adición incrementa la resistencia a la corrosión, particularmente contra cloruros y otros solventes industriales [55] .

El acero inoxidable 316 es usado comúnmente en muchas aplicaciones industriales que incluyen procesos químicos y también ambientes altamente salinos como las regiones costeras y áreas exteriores donde las sales de deshielo son comunes. Debido a sus cualidades no reactivas, el acero inoxidable 316 también se usa en la fabricación de instrumentos médico quirúrgicos. [55]

Aceros de serie 300 alternativos pueden contener hasta 7 por ciento de molibdeno. Ellos proveen incluso mejor resistencia al cloruro, pero dicha resistencia tan potente sólo es necesaria en condiciones industriales o de exposición a altas concentraciones. [55]

12.3. PVC SCH 80

PVC es la sigla inglesa derivada de Policloruro de Vinilo. Pertenece a una extensa familia de materiales denominada polímeros. Estos materiales tienen como denominador común el estar formados por macromoléculas denominadas monómeros. Mediante un proceso químico denominado polimerización, estas moléculas se alinean en largas cadenas dando lugar a un nuevo material llamado polímero. [56]

Este material es adecuado para cuando se requieren altas presiones y temperatura máxima de hasta 93°C, al mismo tiempo como su alta resistencia química. Debe también tener en cuenta los factores de reducción de presión de trabajo en el material con el incremento de la temperatura. [57]

12.4. PRFV

PRFV son las siglas de Poliéster Reforzado de fibra de vidrio, un material compuesto por los tres elementos que en el mismo nombre se señalan: Poliéster. [58]

Es una resina plástica obtenida a partir del petróleo, tiene que pasar por diferentes procesos químicos para que el resultado sean distintos tipos de poliéster, entre ellos está el PET, con el que se hacen las botellas de plástico, y las fibras para hacer ropa. [58]

Es altamente resistentes contra los químicos y la corrosión (debido a sus propiedades no conductoras, también es resistente a la corrosión electrolítica), la radiación UV, posee mucha estabilidad a altas temperaturas y es amigable con el medio ambiente. [59]

12.5. CPVC

En la misma familia de termoplásticos que el PVC se encuentra el policloruro de vinilo clorado (CPVC). Aunque que éste es similar al PVC en su nombre y en los tipos de productos disponibles, muestra una resistencia superior al calor y a la presión, lo que permite usarlo en aplicaciones industriales más exigentes. [60]

Y la diferencia que estos dos materiales presentan, hablando de resistencia al calor y la presión, proviene de su composición molecular. [60]

El Dióxido de Cloro, es un desinfectante que a pesar de sus excelentes características que lo hacen notar sobre cualquier otro incluyendo el Cloro, no se exige en las leyes ambientales de las industrias nacionales e internacionales. Sin embargo, gracias a lo antes ya mencionado, se puede notar que el Dióxido de cloro es la solución a variedad de problemáticas presentes en diferentes industrias en donde la problemática central es el uso excesivo del agua y su contaminación.

La idea central de este documento es que los lectores conozcan acerca del Dióxido de Cloro y que tiene diferentes posibilidades de llegar a muchas industrias, incluidas las alimentarias debido al cumplimiento de la normativa de saneamiento que exigen con la aplicación de estos materiales para su debido manejo dentro de la misma.

13. PRUEBAS EXPERIMENTALES DEL MÉTODO SELECCIONADO

Para la realización de las pruebas experimentales de compatibilidad de los materiales con el Dióxido de cloro se tuvo en cuenta la prueba de remojo, y adicionalmente los siguientes factores; uno de los más importantes es la concentración a la que se encuentra el Dióxido de cloro. Para un mayor control en la concentración del mismo es necesario generar una dilución en agua potable obtenida por las mismas PTAP, PTAR, floricultivos, etc., debido al fácil acceso que cuentan estos clientes a la misma, si se usara agua destilada u otra sustancia generaría un alza en los costos del producto, cabe aclarar que la concentración a la que siempre se prepara el Dióxido de Cloro es de 3000 ppm (esto debido a la relación de cantidades entre los precursores usados para su respectiva generación).

Para poder seleccionar los tiempos de exposición de los materiales al desinfectante, es necesario tener en cuenta la duración de un tanque IBC en un floricultivo o una PTAP, el cual puede durar entre una semana y dos semanas para poder hacer un transvase del desinfectante, sin embargo, para un cliente como el Acueducto de Bogotá un IBC puede estar durando 1 día, debido a su alto caudal de agua manejado en la planta. Sin embargo, se quiere llevar esta prueba a condiciones extremas donde el tiempo de contención del mismo es aproximadamente de un mes. Debido a lo antes explicado los tiempos que se seleccionaron fueron una semana, dos semanas, tres semanas y cuatro semanas, donde se usaran diferentes muestras de materiales y Dióxido de Cloro para cada una de estas muestras, aclarando que todas empiezan el mismo día para las pruebas de inmersión.

Otra factor importante a tener en cuenta es la cantidad usada de desinfectante en la exposición del material, esta variable fue definida a 10 ml de Dióxido de Cloro por cada prueba, debido a que si se hace a un volumen mayor en relación al tamaño reducido de las probetas de los diferentes materiales, puede llegar a arrojar un resultado errónea, ya que el material tiene una capacidad resistente en relación a su respectivo tamaño en comparación a la sustancia a mantener contenida, para evitar ese inconveniente [61], se definió un volumen constante de 10 ml para todo el proceso de pruebas.

Otra variable que se tuvo en cuenta son los materiales seleccionados para las pruebas, cada uno de los materiales que se usaron para estas pruebas como lo son: PVC SCH

80, fibra de vidrio, acero INOX 304, acero INOX 316, y acero al carbón, son comunes en las industrias colombianas, por esa razón fue necesario la realización de las pruebas específicamente con estos materiales. La última variable a tener en cuenta, pero la más importante de todas es el tiempo de exposición de los materiales frente al Dióxido de Cloro, ya que se le hicieron cuatro diferentes variaciones alrededor de un mes, dichas variaciones son las siguientes: 1 semana, 2 semanas, 3 semanas, y 1 mes.

Cada uno de los materiales antes señalados fueron expuestos a cada uno de los tiempos establecidos, para analizar el comportamiento de los mismos al entrar en contacto directo con el Dióxido de cloro en diferentes tiempos y de esa manera definir cual resultado es el más adecuado.

14. PRUEBAS DE COMPATIBILIDAD (LABORATORIOS)

Para la realización de las pruebas se tuvieron en cuenta los factores que se mencionaron anteriormente, también se usaron frascos ámbar como se muestra en la *Ilustración 11* para la inmersión de los materiales en el desinfectante durante los tiempos establecidos, sin embargo, para una mayor visualización de lo que está ocurriendo al terminar el tiempo de exposición se usaron envases plásticos para la toma de fotos que se mostrarán a continuación.

Figura 11.

Pruebas de Dióxido de Cloro en envases ámbar.

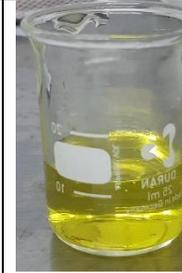
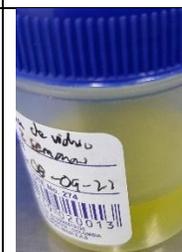
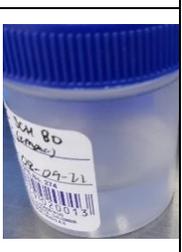
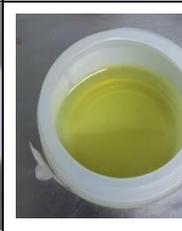


Nota. En la figura se muestra los envases ámbar utilizados para las respectivas pruebas de inmersión de cada una de las probetas de los materiales propuestos para el presente proyecto.

Posterior a eso, se analizará el comportamiento del desinfectante y de los materiales en cada uno de los tiempos, los resultados de las pruebas de exposición son mostrados a continuación:

Tabla 2.

Resultados de las soluciones obtenidos de las pruebas de exposición de los diferentes materiales en variaciones de tiempo.

TIEMPO/MATERIAL	ACERO INOX 304	ACERO INOX 316	ACERO CARBONO	FIBRA DE VIDRIO	PVC SCH 80
BLANCO					
1 SEMANA					
2 SEMANAS					
3 SEMANAS					
4 SEMANAS					

Nota. En la tabla se muestran los resultados del Dióxido de Cloro obtenidos después de cada tiempo de exposición.

A partir de los resultados mostrados en la *Tabla 2*, las soluciones después de haber sido expuestas al desinfectante, se puede analizar que algunos materiales como el acero al carbón fueron afectados fácilmente por el Dióxido de cloro, posiblemente porque su estructura física no tiene la capacidad de contener por un tiempo largo el desinfectante a altas concentraciones, generando un desgaste del mismo, y posteriormente un desprendimiento de las partículas del mismo afectando el color de la solución y posiblemente dejando partículas metálicas en el desinfectante, afectando directamente la eficiencia del mismo a la hora de ser aplicado en cualquier proceso industrial.

Otro análisis que se puede hacer es cuando la sustancia de Dióxido de cloro que normalmente es de color amarillo, cambia de color a transparente, siendo este un indicio a 2 hipótesis, la primera es que posiblemente durante el proceso de exposición no se dejó totalmente sellado el recipiente y quedó expuesto al aire, generando un desgaste del Dióxido de cloro, que paralelamente generaría un desgaste en el color, dejándolo prácticamente transparente “según la página de Carbotecnia”. [62]

La otra hipótesis es que el Dióxido de cloro tiende a reaccionar con algunos materiales por cuestiones de contaminación del mismo y las condiciones en las que se encuentra; al intentar reaccionar con el material, genera un desgaste de producto, reduciendo su concentración hasta que el porcentaje de Dióxido de cloro sea cero y genera un cambio de color. [62]

Adicionalmente, al pasar el mes, se puede observar que el único que no generó afectaciones graves al Dióxido de cloro fue el acero INOX 316, mostrando una tendencia a que ese material es el más apropiado para la contención del mismo, sin embargo, es de vital importancia el uso de las pruebas químicas y físicas para analizar si hay partículas de sólidos suspendidos que son resultado de una corrosión del material por acción del Dióxido de cloro.

Antes de hacer el análisis de las pruebas químicas y físicas, es necesario analizar el comportamiento de los materiales después de haberse hecho la exposición en los diferentes tiempos establecidos, dichos resultados se muestran a continuación.

Tabla 3.

Resultados de materiales expuestos en diferentes tiempos al Dióxido de Cloro.

TIEMPO/ MATERIAL	ACERO INOX 304	ACERO INOX 316	ACERO CARBONO	FIBRA DE VIDIRIO	PVC SCH 80
BLANCO					
1 SEMANA					
2 SEMANAS					
3 SEMANAS					
4 SEMANAS					

Nota. En la tabla se muestran los diferentes materiales después de la exposición directa al desinfectante en cada variación de tiempo.

Como se puede observar en la *Tabla 3*, cada material tuvo una reacción diferente frente al Dióxido de cloro, como, por ejemplo, el acero al carbón, fue dañado drásticamente por el desinfectante, generándole corrosión severa en su estructura física, por lo que debido a esa afectación se hace el descarte del mismo como material óptimo para el proyecto. Otro material afectado fue la fibra de vidrio, ya que el hecho de estar expuesto al Dióxido de cloro generó un desprendimiento y corrugación en la capa del mismo, esto puede ser debido a que la concentración del Dióxido está demasiado alta, sin embargo, otros materiales generaron una mayor resistencia que la misma fibra de vidrio.

Tanto el PVC SCH 80 y el acero INOX 304, no mostraron cambios en su estructura física, sin embargo, como se había mencionado en la *Tabla 2*, dichos materiales pudieron generar una reacción con el Dióxido de cloro, consumiéndolo totalmente, esto llega a ser un grave problema, ya que el material no asegura que la contención del Dióxido de cloro por un respectivo tiempo será óptima para el proceso industrial a aplicarlo.

Finalmente, se puede observar que el acero INOX 316 es resistente al contacto con el Dióxido de cloro, tanto en el comportamiento de la sustancia como en el comportamiento del mismo material, ya que físicamente no fue afectado durante todo un mes de estar expuesto a la solución y mantuvo su apariencia ya que no hubo una generación de oxidación, y se mantuvo la concentración del mismo.

A partir de los resultados obtenidos, se genera la respectiva tabla de compatibilidad entre los materiales y el Dióxido de Cloro, mostrando cuál es el más indicado a nivel laboratorio, ya que faltaría el estudio financiero, y de esa manera tener más bases de cuál es el material más conveniente para poder estar en contacto directo con el Dióxido de Cloro.

A continuación, se mostrará la matriz de compatibilidad de los materiales con la sustancia de interés.

Tabla 4.

Matriz de compatibilidad del Dióxido de cloro con los materiales.

MATERIALES/DESINFECTANTE	DIÓXIDO DE CLORO (ClO_2)
ACERO INOX 316	Compatible
ACERO INOX 304	Problemas de compatibilidad
ACERO AL CARBONO	Problemas de compatibilidad
FIBRA DE VIDRIO	Problemas de compatibilidad
PVC SCH 80	Problemas de compatibilidad

Nota. En la tabla se muestra la compatibilidad que hay entre cada uno de los materiales y el Dióxido de Cloro después de analizar los resultados de la prueba de exposición.

En la *Tabla 4*, se especifica a partir de las pruebas químicas hechas anteriormente si los materiales son compatibles o tienen problemas de compatibilidad debido a sus propiedades que provocan una reacción con el Dióxido de Cloro, o debido a su débil resistencia frente al mismo.

15. PRUEBAS FÍSICAS

A partir de las pruebas terminadas de exposición de materiales, se hizo un análisis físico relacionado con los materiales expuestos en los diferentes tiempos, cada análisis tiene relación con el peso del material, tamaño del material y apariencia de este, donde los tres componentes, definirán la eficiencia del material respecto a la necesidad propuesta para el proyecto.

Los análisis fueron realizados en cada uno de los materiales, los cuales son mostrados en las siguientes tablas de resultados:

Tabla 5.

Pruebas físicas Acero INOX 304.

TIEMPO/MATERIAL	ACERO INOX 304	
////////////////////	PESO (g)	MEDIDAS (cm)
SIN CONTACTO	1,3	2 x 0,3 x 0,1
1RA SEMANA	1,3	1,9 x 0,3 x 0,1
2DA SEMANA	1,3	2 x 0,3 x 0,1
3RA SEMANA	1,3	2,1 x 0,3 x 0,1
1 MES	1,3	2 x 0,3 x 0,1

Nota. En la tabla se muestra el cambio de las dimensiones del Acero INOX 304 después de la exposición al desinfectante.

Tabla 6.

Pruebas físicas Acero INOX 316.

TIEMPO/MATERIAL	ACERO INOX 316	
////////////////////	PESO (g)	MEDIDAS (cm)
SIN CONTACTO	3,6	3 x 0,9 x 0,1
1RA SEMANA	3,9	3 x 0,9 x 0,1
2DA SEMANA	3,6	3 x 0,7 x 0,1
3RA SEMANA	3,6	3 x 0,7 x 0,2
1 MES	3,6	2,9 x 0,8 x 0,1

Nota. En la tabla se muestra el cambio de las dimensiones del Acero INOX 316 después de la exposición al desinfectante.

Tabla 7.

Pruebas físicas Acero al carbono.

TIEMPO/MATERIAL	ACERO CARBONO		
////////////////////////////////	PESO (g)	ÓXIDA (g)	MEDIDAS (cm)
SIN CONTACTO	16	0	2 x 0,9 x 0,8
1RA SEMANA	15,8	0,1	2,2 x 1 x 0,8
2DA SEMANA	15,6	0,1	2,1 x 1 x 0,8
3RA SEMANA	15,6	0,1	2,2 x 1 x 0,8
1 MES	15,6	0,1	2,3 x 1,1 x 0,9

Nota. En la tabla se muestra el cambio de las dimensiones del Acero al carbono después de la exposición al desinfectante.

Tabla 8.

Pruebas físicas Fibra de vidrio.

TIEMPO/MATERIAL	FIBRA DE VIDRIO	
////////////////////////////////	PESO (g)	MEDIDAS (cm)
SIN CONTACTO	0,7	2,8 x 1 x 0,1
1RA SEMANA	0,6	2,7 x 1,2 x 0,1
2DA SEMANA	0,6	2,7 x 1,1 x 0,1
3RA SEMANA	0,6	2,8 x 1 x 0,1
1 MES	0,5	2,9 x 1,2 x 0,1

Nota. En la tabla se muestra el cambio de las dimensiones de la Fibra de vidrio después de la exposición al desinfectante.

Tabla 9.

Pruebas físicas PVC SCH 80.

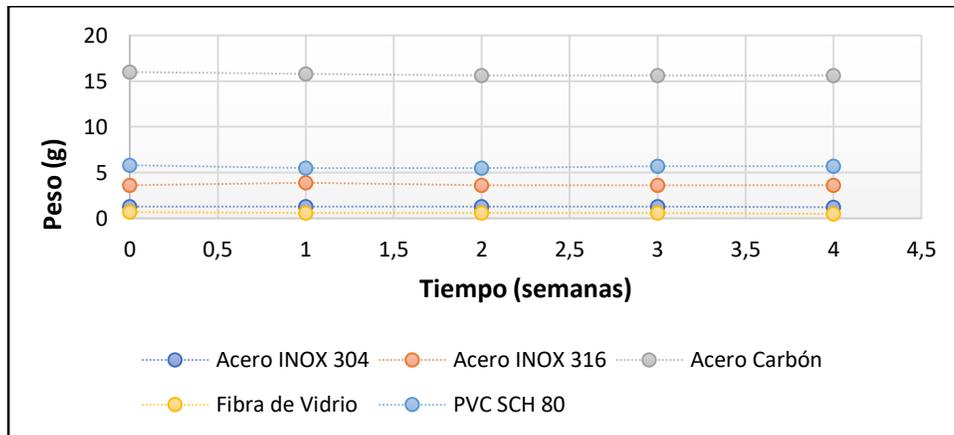
TIEMPO/MATERIAL	PVC SCH 80	
////////////////////	PESO (g)	MEDIDAS (cm)
SIN CONTACTO	5,8	3,5 x 1,3 x 0,9
1RA SEMANA	5,5	3,5 x 1,3 x 0,9
2DA SEMANA	5,5	3,5 x 1,3 x 0,9
3RA SEMANA	5,7	3,5 x 1,3 x 0,9
1 MES	5,7	3,5 x 1,3 x 0,9

Nota. En la tabla se muestra el cambio de las dimensiones del PVC SCH 80 después de la exposición al desinfectante.

A partir de las *Tablas 5-9*, se puede mostrar como las dimensiones de los diferentes materiales fueron afectadas en relación a la exposición del desinfectante, mostrando alteraciones mínimas en todos los materiales, en especial el acero al carbono que fue el que más sufrió daños por oxidación.

Figura 12.

Gráfica de comportamiento del peso respecto al tiempo de exposición de los diferentes materiales de prueba.

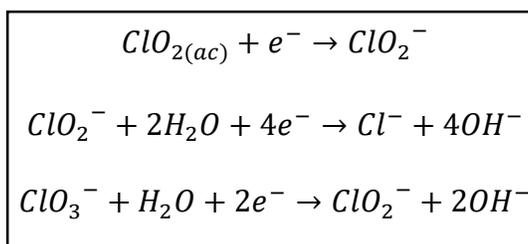


Nota. En la gráfica se muestra el comportamiento de cada material respecto al tiempo de exposición y su diferencia con los demás materiales.

A partir de la *Figura 12*, se puede analizar la estabilización en el comportamiento del peso de los materiales en función del tiempo en el que estuvieron expuestos al Dióxido de cloro, se puede observar un comportamiento un poco más eficiente en el Acero INOX 316, esto se debe a que no se presentaron afectaciones severas en el material por parte del oxidante, esto deja claro que su peso es constante y no genera pérdidas del mismo, que a diferencia de algunos de los demás materiales que estuvieron presentes en la respectiva prueba, su comportamiento fue positivo y viable para el proyecto.

El aumento del peso en los materiales, como en el acero INOX 304, se debe a la formación de Óxidos en su capa, lo que genera una acumulación de materia en el mismo volumen del material, generando así un aumento en su peso después de su exposición y experimentar el proceso de oxidación. Las reacciones presentes en el proceso de oxidación están resumidas en la *Ecuación 3* y son las siguientes:

Ecuación 3. Reacción por oxidación. [63]



A continuación, se procede a las pruebas de resistencia, en donde los materiales expuestos anteriormente al Dióxido de Cloro son expuestos a una presión de 12 toneladas ejercidas con una prensa hidráulica, y a partir de esta prueba analizar el comportamiento de los materiales frente a esta fuerza, los resultados son mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 10.

Pruebas de resistencia con una prensa de 12 toneladas de fuerza.

TIEMPO/ MATERIAL	FUERZA (Ton)	ACERO INOX 304	ACERO INOX 316	ACERO CARBONO	FIBRA DE VIDRIO	PVC SCH 80
BLANCO	12					
1 SEMANA	12					
2 SEMANAS	12					
3 SEMANAS	12					
4 SEMANAS	12					

Nota. En la tabla se muestra los resultados después de las pruebas físicas por medio de prensa hidráulica a todos los materiales propuestos para las pruebas.

A partir de todas las pruebas realizadas tanto en laboratorios químicos como en físicos mostrados en la *Tabla 10*, se obtuvieron resultados que generan una tendencia que apunta a que el Acero INOX 316 es el material más eficiente a la hora de permitir un contacto por un rango de tiempo amplio, ya que no se generan afectaciones físicas del material, sin generar un deterioro, oxidación y debilitamiento del mismo, en comparación con los demás materiales.

También, cabe añadir que tampoco llegó a afectar la parte química de la solución de Dióxido de Cloro, dado que no hubo una reducción de su concentración, tampoco sólidos presentes en la solución que dan indicio a un posible desgaste del material, que deja partículas pequeñas que pueden afectar la composición de la solución, ya que ésta va ligada a la función de oxidación del propio desinfectante.

16. ANÁLISIS FINANCIERO DE LAS INDUSTRIAS EN COLOMBIA

En este capítulo se desarrollará el estudio de mercado de los diferentes materiales, su impacto en la industria agrícola colombiana y si su uso mueve significativamente tasas de mercado, de esa manera se determinará si es eficiente y viable el uso del mismo.

16.1. Mercado de los aceros en Colombia

Desde la revolución industrial, el uso del acero en los sectores de la construcción ha hecho referencia al desarrollo y progreso. En Colombia, la evolución en el acero no ha sido la excepción. El surgimiento de la industria siderúrgica en el país coincidió con muchas obras modernizadas que tenemos actualmente. [64]

Los primeros artesanos en trabajar con el hierro, producían aleaciones que hoy en día se clasificarían como hierro forjado. Este se lograba mediante una técnica que implicaba calentar una masa de mineral de hierro y carbón vegetal en un gran horno con tiro forzado, que hoy en día sería el alto horno [64]

Con esto se reducía el mineral a una masa esponjosa de hierro metálico llena de escoria de impurezas metálicas con adiciones de cenizas de carbón vegetal. Esta esponja de hierro se retiraba mientras permanecía incandescente, y por medio de fuertes golpes con pesados martillos se podía expulsar la escoria y así mismo soldar el hierro [64]. Ocasionalmente, esta técnica de fabricación, generaba accidentalmente auténtico acero en lugar de hierro forjado, dándolo a conocer por primera vez en nuestro país. [64]

Durante los últimos 10 años en Colombia ha sido evidente el crecimiento del sector de la construcción. El incremento de 61% del PIB de la construcción desde 2007, tiene repercusión directa en el comportamiento del consumo de aceros largos, los cuales representan los principales insumos para las edificaciones y la infraestructura. [64]

La producción de acero en Colombia ha representado desarrollo e innovación. Los proyectos de renovación urbana, de vías 4G, de vivienda y desarrollo portuario ha encontrado en el acero colombiano un valioso aliado. Este metal no solo permite impulsar la industria y el empleo en el país, sino que además garantiza calidad y seguridad. [64]

El acero en Colombia y la industria siderúrgica son elementos fundamentales en la construcción y el desarrollo del país. Estos han aportado al progreso de comunidades y empresas a través de sus campos de acción. [64]

Figura 13.

Industria del acero.



Nota. La figura muestra el proceso siderúrgico para la obtención del acero utilizado en el mercado colombiano. Tomado de: M. S. d. Galicia, «Minería Sostenible de Galicia,» 13 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://minariasostible.gal/es/todo-lo-que-deberias-saber-sobre-el-acero/>.

La *Figura 13*, tiene relación con el estudio de la globalización en el mercado del acero colombiano, por parte de investigadores de la cámara de Fedemetal y la ANDI caracterizaron localmente la industria del acero y mostraron la necesidad de analizar desafíos, riesgos y definiciones de estrategia del sector. A partir de estas investigaciones se ubicó la industria colombiana del acero en el contexto mundial, desarrollando un marco de referencia que dé herramientas a dirigentes de organizaciones de este gremio para definir sus estrategias corporativas. [66]

Tras la recopilación de estadísticas e información del sector de agremiaciones internacionales y locales, estudios macroeconómicos y análisis de expertos, se encontró que la industria siderúrgica colombiana esta aun por desarrollarse y es vulnerable al proceso de internacionalización de la economía, que requiere de estrategias alineadas a la vinculación de cadenas de cadenas de valor y desarrollar ciencia y tecnología para ser

competitiva internacionalmente; la siderurgia colombiana tiene el reto de alcanzar la sostenibilidad y la capacidad para entrar a la clase mundial del acero. [66]

El incremento del precio del acero en Colombia y el mundo obedece a la dinámica que se está presentando a nivel internacional, presionada por recuperación de mercados, crecimiento de la demanda y reactivación de sectores relacionados con la producción y consumo de acero “El aumento de precios es una situación que se está presentando a nivel mundial, no solo en Colombia”. [67]

La directora del comité de productores de acero aclara que “este producto tiene una participación promedio de 9.95% en la estructura de costos de los proyectos vivienda de interés social (VIS) y del 4.69% en los proyectos no VIS. De hecho, al tener en cuenta la mano de obra, terrenos y permisos, entre otros elementos, el aumento de precios de este insumo que es básico para el sector de construcción afecta de manera parcial en el costo total de los proyectos. [67]

16.2. Empresas más grandes comercializadoras de acero en Colombia

En el año 2020 se generó un ranking de mercado de las ventas y crecimiento de 11 empresas líderes del sector de industrias básicas de hierro y acero para el periodo 2016-2020, así como la generación de empleos directos e ingresos por empleado para 2020. [68]

En el año 2020, el grupo Techint con sus empresas Ternium Colombia, Tenaris Tubocaribe y Ternium Sidealdas mantuvo su liderazgo, mientras que continuó un empate para el segundo lugar entre la Organización G&J con sus empresas GYJ Ferreterías, Colmena y Almasa, y el Grupo Gerdau con sus empresas Diaco y Cyrgo. [68] En el cuarto lugar se consolidó el Grupo Votorantim con Acerías Paz del Rio seguido de Acesco Sidenal. Más abajo se posicionaron Agofer, Saint Gobain Colombia Steckerl Aceros, Corpacero, Proalco, H B Estructuras Metálicas conjuntamente con Sadelec, Arme, La Campana Servicios de Acero, Trefilados de Colombia, Hierros HB, Almasa, Incolma, Carlos Alberto Mejía, Tuboláminas, Fajobe, Icoperfiles Dimel Ingeniería y CSP de Colombia. [68]

Figura 14.

Mapa del Mercado de Aceros en Colombia.



Nota. En la figura se muestra como es el movimiento económico y social que ejerce la industria siderúrgica en Colombia. Tomado de: L. REPÚBLICA, «LA REPÚBLICA,» 11 mayo 2021. [En línea]. Available: <https://www.larepublica.co/economia/la-industria-de-acero-genera-45-000-empleos-y-es-fundamental-para-la-reactivacion-3215442>.

En la *Figura 14*, se muestra como en los últimos tiempos la industria del acero en Colombia, al igual que otros sectores industriales, ha sido golpeada por los efectos económicos y sociales de la pandemia del COVID-19. Las siderúrgicas han tratado de hacer todo lo posible para recuperarse, trabajando a una máxima capacidad. Sin embargo, en junio de 2021, la producción de acero creció 45% respecto a mayo del mismo año y está por encima de lo registrado en el primer trimestre de 2021 y al mismo tiempo por encima de los niveles al inicio de ese mismo año. [69]

En Colombia el plástico ha demostrado tener una eficiente capacidad para conservar en una mayor duración y calidad todo tipo de productos. [70] En el mercado nacional, los envases metálicos y de vidrio han sido cambiados por los envases elaborados con materiales plásticos. [70]

De todo el plástico que es destinado a la fabricación de envases en Colombia, el 62% es ocupado por el sector de los alimentos. Adicionalmente, el 22% es utilizado para envasar bebidas y un 9% es usado en productos de aseo y cosméticos. [70]

El mercado de los plásticos en Colombia está conformado por las materias primas, las semimanufacturas de plásticos, las manufacturas y los desechos de plásticos para el reciclaje. [70]

En la industria en general, el principal sostén de este mercado en Colombia es el sector alimentos, que ha colaborado un apoyo muy importante en los últimos años. El plástico es una industria que por medio de la innovación ha conseguido un valor agregado con respecto a otras industrias. [70]

Otro factor a favor de este mercado del plástico, es que Colombia cuenta con un índice cercano al 0% para las exportaciones de productos plásticos hacia países como Estados Unidos, Brasil, México, Perú, Ecuador y Chile. [70]

Esta industria también ha sido muy importante para la generación de empleo, ya que la industria siderúrgica colombiana, conformada por Acerías Paz del Río, Gerdau Diaco, Grupo Siderúrgico Reyna, Sidoc S.A. y Ternium, los cuales conforman el 100% de la producción nacional, ha generado más de 45.000 empleos directos e indirectos alrededor de todo el país. Así mismo, estas empresas tienen presencia en varias regiones del país, cinco acerías y alrededor de 12 plantas de laminación, con inversiones por más de US\$620 millones. Adicionalmente, durante el tiempo de la pandemia y con todas sus plantas apagadas, la industria preservó 100% de los empleos. [69]

Esto da a entender, que la industria nacional de acero es generadora de empleos legales y estables para los empleados, los cuales promueven el desarrollo, el mejoramiento de la calidad de vida y, sobre todo, la capacidad de adquisición por parte de los ciudadanos,

hecho que termina siendo el gran dinamizador de sectores como el comercio y los servicios. [69]

Tabla 11.

Empresas de producción siderúrgica.

No	Empresa	Estado de Resultados			Activos	Pasivos	Patrimonio
		Ingresos Operacionales	EBITDA	Resultado Neto	Activo Total	Pasivo Total	Patrimonio Total
1	Acerías Paz del Río S.A.	\$ 1.402.409	\$ 285.081	\$ 118.180	\$ 2.070.432	\$ 94.022	\$ 1.129.910
5	Tenaris Tubocaribe Ltda.	\$ 938.132	\$ 157.941	\$ 14.218	\$ 1.582.023	\$ 779.114	\$ 802.909
10	Temium Siderúrgica De Caidae S.A.S	\$ 633.050	\$ 112.578	\$ 53.418	\$ 429.599	\$ 176.356	\$ 253.243
15	Ci West Metals Company S.A.S	\$ 361.614	\$ 7.130	\$ 5.406	\$ 10.710	\$ 2.464	\$ 8.216

Nota. En la tabla se muestra las industrias más importantes de acero y sus ganancias hasta el día de hoy. Tomado de: eINFORMA, «eINFORMA,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.einforma.co/informes-sectoriales/sector-empresas-acero-hierro>.

En la *tabla 11*, se puede demostrar que sin la industria siderúrgica consolidada y establecida, hoy sería imposible depositar en la construcción toda la confianza para jalonar la recuperación económica del país, esto lo indicó el Comité Colombiano de Productores de Acero de la Andi, conformado por las cinco siderúrgicas más grandes del país. [69]

Figura 15.

Ingresos Operacionales del mercado siderúrgico.

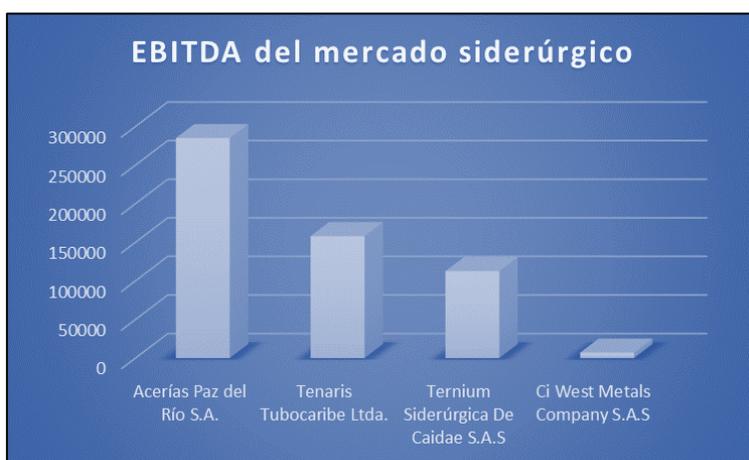


Nota. En la gráfica se muestran los ingresos operacionales de las diferentes industrias de aceros en Colombia.

Las industrias siderúrgicas mostradas en la *Figura 15*, tienen un gran impacto en la economía colombiana debido a que es un país agrícola, por lo que la necesidad de aceros en las diferentes industrias relacionadas con los alimentos es alta, por lo que es necesario una alta capacidad de producción en las siderurgias y paralelamente un mayor alce en las tasas de ganancias de las mismas.

Figura 16.

EBITDA (Beneficios antes de intereses, impuestos, depreciación y amortización) del mercado siderúrgico.



Nota. En la gráfica se muestra el indicador financiero en general de la industria siderúrgica en Colombia.

De acuerdo a la *Figura 16*, los negocios siderúrgicos en Colombia muestran una funcionalidad eficiente en el proceso de finanzas del país más allá de otras limitaciones o de la forma en que se ha financiado. Debido a ello las ganancias que pueden generar las industrias son muy altas, por lo que la viabilidad de inversión incrementa también, atrayendo posibles inversores generando un alce en la economía del país. [72]

Figura 17.

Resultado Neto del mercado siderúrgico.



Nota. En la gráfica se muestra el comportamiento del resultado neto del mercado siderúrgico en Colombia. Elaboración propia

Figura 18.

Activo Total del mercado siderúrgico.



Nota. La gráfica muestra el comportamiento del activo total del mercado siderúrgico en Colombia.

Figura 19.

Pasivo Total del mercado siderúrgico.



Nota. En la gráfica se muestra el comportamiento del pasivo total del mercado siderúrgico en Colombia. Elaboración propia.

Figura 20.

Patrimonio Total del mercado siderúrgico.



Nota. En la gráfica se muestra el comportamiento del patrimonio total del mercado siderúrgico en Colombia.

Teniendo conocimiento de todos los datos económicos del mercado siderúrgico mostrados en las *Figuras 17-20*, se entiende como la cantidad de dinero que dispone la

empresa tras haber hecho frente a sus obligaciones en forma de impuestos o gastos, por lo que es igual a las ganancias de la empresa.

De acuerdo a los análisis en el mercado siderúrgico, se puede decir que genera beneficios no solo a la empresa por sus ganancias generadas en un tiempo determinado, sino también al mercado colombiano ya que es una industria que genera sus pagos de impuestos, obteniendo un movimiento del dinero en el mercado y de ese modo generando un aumento en la economía del país colombiano. [73]

La industria siderúrgica tiene una capacidad instalada de 2.6 millones de toneladas, suficiente para atender el crecimiento de la demanda del sector de la construcción y de infraestructura, siendo proyectadas a 2022 y 2023. Y si es necesario complementar la oferta nacional, se puede acceder de manera inmediata a producto originario de los principales socios comerciales de Colombia a 0% de arancel, donde existen más de 127 millones de toneladas disponibles para un proceso siderúrgico en estos últimos años en el país. [69]

Recientemente, se han realizado inversiones como la planta de Palmar de Varela en Atlántico de Ternium, que requirió una inversión cercana a US\$100 millones y tiene una capacidad para producir 500.000 toneladas de acero aproximadamente. Esta planta tiene la capacidad de sustituir 100% de las importaciones que hoy en día se hacen al país, y al mismo tiempo genera empleo de calidad. [69]

En relación al panorama internacional, la fuerte recuperación de los mercados internacionales y un crecimiento abrupto de la demanda en el segundo semestre de 2020 se tradujo en un desequilibrio de la oferta del acero. Este nuevo escenario, lo cual se encuentra relacionado con la escasez de materias primas, generó que aumentara el costo de estas, lo cual llevó a un incremento en los precios del acero. [69]

Los precios internacionales de la chatarra y el mineral de hierro, los cuales, son insumos claves para la producción de acero, crecieron 92% y 108% respectivamente, durante los últimos años. [69] Colombia no ha tenido relación con estos comportamientos de los precios mundiales; el precio de la chatarra ha crecido 111% desde junio de 2020, mientras que el precio del producto terminado ha aumentado 48% en este mismo

periodo, un menor incremento que los registrados en mercado a nivel internacional como lo es México (77%) y Turquía (69%). [69]

La industria siderúrgica está comprometida con la acción climática que le permita al Gobierno Nacional avanzar en la meta de carbono neutral para el año 2050. [69] Una apertura indiscriminada a las importaciones de acero para concreto terminaría afectando estas metas planteadas, si se tiene en cuenta que China produce 474.4 Kg CO₂ por dólar, mientras que Colombia solo produce 107.8 Kg CO₂ por dólar. [69]

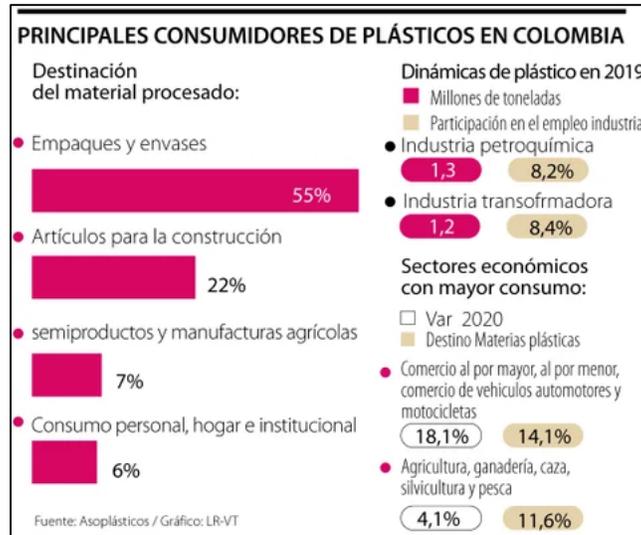
16.3. Mercado del PVC en Colombia

La industria del PVC ha sido atacada desde hace algunos años por asociaciones ambientalistas. El consumo del PVC tuvo un crecimiento de un 4.8% anual, en promedio aproximadamente, para el periodo que va desde 1999 hasta 2004. Esta cifra está por encima del comportamiento a escala global (aproximadamente el 4%) para un periodo de tiempo similar. [74]

En el caso de los envases rígidos, el excelente bagaje de propiedades ópticas del PET y los desarrollos tecnológicos han ayudado en su procesamiento hasta transformarlo en una opción viable para trabajar equipos que están hechos de otros materiales. [74]

Figura 21.

Principales consumidores de plástico en Colombia.



Nota. En la figura se muestran los principales consumidores de plástico en Colombia y como es la viabilidad de la industria en el país. Tomado de: L. REPÚBLICA, «LA REPÚBLICA,» 17 septiembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.larepublica.co/especiales/la-revolucion-del-plastico/transformadoras-de-empaques-las-empresas-que-mas-plastico-consumen-en-2021-3233799>.

En la *Figura 21*, muestra que en aquellos países donde la problemática ha sido más intensa, se puede ver una mejora en la imagen del PVC, hay más madurez al plantear y enfrentar los cuestionamientos acerca de la fabricación y la forma de uso del mismo. También, la industria automovilística parece estar redescubriendo el PVC sobre la base de la ecuación costo/desempeño. El sector de arquitectura y decoración, pionero en pautas y tendencias, lo exhiben orgullosamente en zonas donde un diseño audaz y dinámico genera respuestas apropiadas en lo que es resistencia y vistosidad de recubrimientos de PVC sobre las membranas de poliéster. [74]

En Colombia, la situación de la imagen del PVC se plantea dentro de un contexto que parecería guardar alguna relación con los niveles de bajo consumo de este material, sin

que se adviertan posiciones radicalizadas. Quienes lo consumen saben que está usando un buen aliado ya que es un material que se identifica con productos que satisfacen eficientemente algunas necesidades básicas como la bolsa para conservar sangre, la cortina de baño, las tuberías que no se corroen, etc. [74]

En Colombia, el reciclaje post industrial del PVC es un hecho diario tanto en instalaciones de los procesadores como en las propias industrias de Petco S.A. Sin embargo, en el post consumo, se está en espera de complementar programas de la envergadura y seriedad de la iniciativa europea del reciclaje que, por razones relacionadas con la supervivencia, se desarrolla desde hace años en el país. [74]

La participación de las productoras de PVC en iniciativas gremiales para el apoyo de estos planes ha sido desde siempre y significativa. Esta industria ha contribuido con la creación de publicaciones como la Guía Ambiental para el Manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post consumo, realizada por Acoplásticos en convenio con el ministerio de ambiente de Colombia y publicada en el año 2004. Todas estas iniciativas apuntan a lograr que el reciclaje se convierta en una institución más de nuestro tejido social, con dinámica y efectividad propias. [74]

Existen oportunidades de negocio para diversos productos que tienen claramente un potencial de mercado, tanto en el país como en el exterior. Su aprovechamiento puede significar un incremento en las exportaciones de PVC como producto terminado, algo que en Colombia se viene haciendo con éxito. [74]

Existe un ranking de mercados de ventas y crecimiento de 63 empresas líderes del sector de insumos plásticos de la construcción para el periodo de 2015 - 2019, así como la generación de empleos e ingresos por empleado para 2019. [76]

En 2019, el Grupo Ajoever a partir de sus empresas Ajoever Darnel, Nouvelle Colombia y Extrusa de Colombia fue el líder al superar por una mínima diferencia al Grupo Mexichen con sus empresas Mexichen Colombia, Celta y Pavco de occidente, mientras que PVC Gerfor ascendió al tercer lugar seguido de Lamitech. Más abajo se situaron Durman Colombia, Extrucol, Tecnopipe, Sociedad CFC, Tubosa y Arks Sistemas Arquitectónicos. Más atrás se posicionaron Tigre Colombia, Imec, Tesicol, Kangupor, PCP Plásticos,

Acuatubos, Plaxtextil, Fibratore, Azembla conjuntamente con Canadian PVC, Polyton, Rehau e Inacril. [76]

El 55% del tonelaje procesado es autoría de estas compañías, seguido por los sectores construcción y el agrícola. La mayoría de productos que consumen o utilizan los colombianos en su día a día tienen que ver con la industria del plástico, motivo por el cual esta se convierte en uno de los indicadores más representativos de la economía nacional. [75]

Adicionalmente, se conoció que los principales sectores económicos en Colombia en la que tienen mayor participación en el consume del plástico están relacionados con el comercio, al por mayor y al por menor, con 14.1% de facturación y, a la agricultura, la ganadería, la caza y la silvicultura cuyo registro alcanza 11.6% del total alrededor del país. Ambos con un alentador crecimiento de 18.1% y 4.1% respectivamente, con base al año anterior. [75]

Tabla 12.

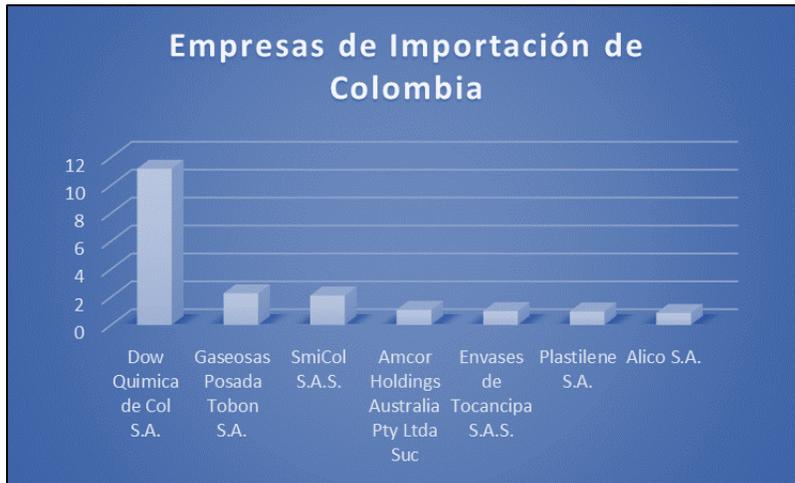
Empresas de Importación de plásticos en Colombia.

No	Empresa	% importación
1	Dow Quimica de Col S.A.	11,19
2	Gaseosas Posada Tobon S.A.	2,27
3	SmiCol S.A.S.	2,11
4	Amcor Holdings Australia Pty Ltda Suc	1,08
5	Envases de Tocancipa S.A.S.	1
6	Plastilene S.A.	0,97
7	Alico S.A.	0,86

Nota. En la tabla se muestra las industrias más importantes de importación de plásticos en Colombia. Tomado de: SICEX, «SICEX,» 2022. [En línea]. Available: <https://sicex.com/blog/la-industria-del-plastico-representa-un-mercado-muy-productivo-en-colombia/>.

Figura 22.

Empresas Importadoras de plásticos en Colombia.



Nota. En la gráfica se muestra las empresas más grandes de importación de plástico en Colombia.

Tabla 13.

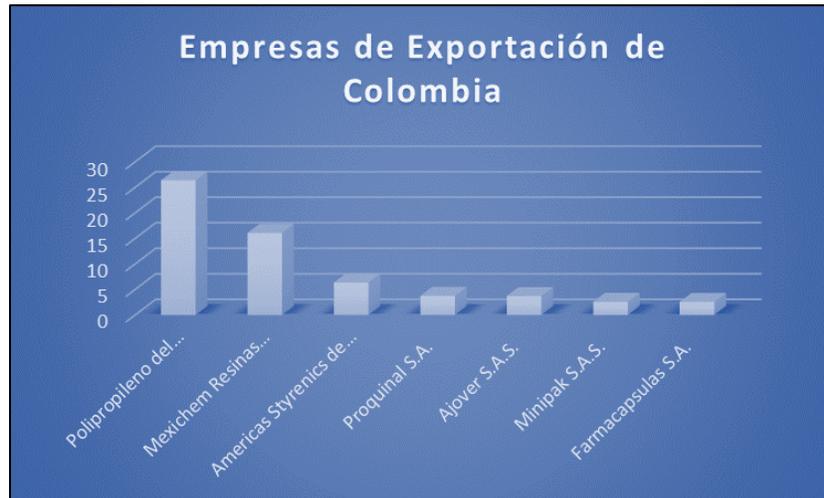
Empresas Exportadoras de plásticos en Colombia.

No	Empresa	% exportación
1	Polipropileno del caribe S.A.	26,39
2	Mexichem Resinas Colombia S.A.S.	16,08
3	Americas Styrenics de Col Ltda	6,36
4	Proquinal S.A.	3,75
5	Ajover S.A.S.	3,71
6	Minipak S.A.S.	2,58
7	Farmacapsulas S.A.	2,56

Nota. En la tabla se muestra las empresas exportadoras más importantes de plásticos en Colombia. Tomado de: SICEX, «SICEX,» 2022. [En línea]. Available: <https://sicex.com/blog/la-industria-del-plastico-representa-un-mercado-muy-productivo-en-colombia/>.

Figura 23.

Empresas Exportadoras de plástico en Colombia.



Nota. En la gráfica se muestra la comparativa entre las empresas exportadoras de plástico en Colombia.

En las *Figuras 22-23 y Tablas 12-13*, se muestra como la industria de los plásticos genera un mercado de importación muy grande ya que muchos productos que son base del movimiento económico e industrial del país son importados de zonas con un umbral de producción de plásticos muy altos, sin embargo, también como se había mencionado antes, también posee empresas exportadoras de los mismos, ya que cuenta con zonas industriales con condiciones óptimas para la producción de los plásticos.

Una de las problemáticas más grandes que tiene la industria del plástico, es que al tener mayores importaciones que exportaciones, no se ve un producto o material que sea viable para el proyecto, ya sea PVC SCH 80, o fibra de vidrio, ya que en un análisis económico es necesario una mayor inversión para la obtención de los materiales, y más, si es para tanques de una capacidad mayor a un metro cúbico.

El hecho de tener interés por un material, genera que se requiera de la manipulación del mismo, no solo en el moldeo, ya que para estos casos en donde se manejan sustancias que son líquidos - gases, es necesario tener un tanque cilíndrico para evitar desestabilización en el gas, por lo que, para cuestiones de moldeo y manipulación detallada en el material para generar un envase de contención o almacenamiento, se

requiere de mayor inversión económica que otros materiales que son más baratos por el hecho de que su producción en masa se puede hacer nacionalmente, como lo es la industria de los aceros.

16.4. Mercado de las resinas en Colombia

Más allá de lo económico, la industria de la resina provee a la sociedad colombiana de cantidad de servicios asociados a los pinares, dado que disminuye el riesgo de incendios, crea empleo rural, que, a su vez, contribuye a fijar a la población, y mantener un hábitat donde los efectos nocivos del cambio climático son más reducidos, refugiando a especies que se encuentran vulnerables frente a este fenómeno. [77] Así lo afirma un estudio publicado en la revista Science of The Total Environment, y en el que participa el Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN). Han colaborado con este centro del CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas) y el instituto Universitario de Gestión Forestal Sostenible (iuFOR) de la Universidad de Valladolid. [77]

La resina que se obtiene en las diferentes zonas del mundo, proviene de bosques seminaturales con un manejo sostenible. En España, el 90% de estos bosques son de gestión pública. Se trata de áreas de pinares que se han conservado durante miles de años gracias a los habitantes de los municipios que tradicionalmente los han aprovechado para obtener madera, leña, resina, piñones o setas, así como para el pastoreo o la caza. [77]

Mas allá del perjuicio económico, el abandono de esta actividad forestal pondría en peligro estos ecosistemas de alto valor cultural, con la consiguiente pérdida de bienestar. De ahí la importancia de mantenerla, advierten diferentes organizaciones ambientales alrededor del mundo. [77]

En la península Ibérica, una de las mayores amenazas de estos bosques protegidos, son los incendios forestales. En épocas de verano, los resineros (empresas de producción de resinas) son la primera línea de la lucha contra los incendios forestales, debido a que, podan las ramas debilitadas y secas de los árboles, se deshacen de los restos vegetales, ya que pueden arder muy fácilmente y afectar las zonas forestales aledañas, y protegen la vegetación alrededor de las áreas forestales. [77]

En los últimos años, la reducción del presupuesto de los fondos públicos destinados a la protección de estas áreas forestales, ha generado un empeoramiento en los efectos del cambio climático, además de la disminución de la población alrededor de estas áreas.
[77]

De acuerdo al análisis financiero anteriormente mostrado, el mercado siderúrgico es el que mayor movimiento económico genera en el país colombiano, poniendo a los aceros sobre cualquier otro material para uso de construcción de maquinarias y procesos industriales. Poniendo los ojos en el acero INOX 316, acero INOX 304 y acero al carbón, los materiales más eficientes para ser aplicados en las diferentes industrias del país.

Al hacer el análisis costo beneficio, el acero inoxidable INOX 316, no sufre un proceso de oxidación por parte del Dióxido de Cloro, su costo es superior con respecto a los otros materiales que se plantearon en el proyecto (dos veces más que el acero INOX 304 y cuatro veces más que el acero al carbono), pero teniendo en cuenta que los demás materiales sufrieron afectaciones severas por parte del desinfectante, con este se garantiza la seguridad para el consumidor (cliente) que desee realizar una dosificación constante del producto de interés.

17. CONCLUSIONES

Mediante la exhaustiva revisión bibliográfica se logró entender más a fondo acerca del Dióxido de Cloro y sus componentes, las formas de manejo seguras del mismo, diferencias que lo hacen más eficiente que otros desinfectantes, propiedades químicas y físicas del mismo, para un mejor entendimiento y manejo de las pruebas y de esa manera, obtener mejores resultados de la experimentación.

A partir de las limitaciones que tenía la empresa respecto a los componentes del proyecto, y paralelamente a la realización de las investigaciones acerca de los diferentes ensayos de corrosión en materiales, se decidió partir con la prueba de inmersión para encontrar la opción más viable para el material de contención y manejo del Dióxido de Cloro.

Se realizaron las diferentes pruebas propuestas, tanto físicas como químicas, en donde se encontró que el acero INOX 316 es el material más compatible con el Dióxido de Cloro, ya que no sufrió daños físicos severos, y no afectó la concentración del desinfectante durante el tiempo de contacto.

Se analizaron los diferentes sectores industriales a los que pertenecen los materiales y el impacto de los mismos sobre el mercado, reflejando que la industria siderúrgica (aceros) es la que más impacto económico tiene sobre el mercado colombiano, lo que respalda la selección del acero INOX 316 como el material más viable para el manejo del Dióxido de Cloro en la industria.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. O. V. Hugo, «Dióxido de Cloro, los milagros no existen,» Revista CON-CIENCIA N°1, Bolivia, 2020.
- [2] PAVCO, «PAVCO,» 12 marzo 2021. [En línea]. Available: <https://pavcowavin.com.co/blog/beneficios-de-usar-tuberias-pvc#:~:text=Las%20tuber%C3%ADas%20de%20policloruro%20de,como%20aguas%20lluvia%20y%20ventilaci%C3%B3n..>
- [3] Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, «Provoca efectos adversos a la salud el consumo de dióxido de cloro,» Universidad Nacional Autónoma de México, Coyoacán, 2020.
- [4] «LENNTECH,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/quimica/desinfectantes-dioxido-de-cloro.htm>.
- [5] BRENNTAG, «FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006,» BRE, 2015.
- [6] N. J. D. H. A. S. SERVICES, «HOJA INFORMATIVA SOBRE SUBSTANCIAS PELIGROSAS,» *NEW JERSEY DEPARTMENT HEALTH AND SENIOR SERVICES*, pp. 1-6, 2005.
- [7] P. P. J. Mauricio, «Estudio de las características y uso potencial del dióxido de cloro en la industria y la salud,» Universidad Central del Ecuador, Quito, 2021.
- [8] «Conceptos,» 2022. [En línea]. Available: <https://deconceptos.com/general/compatible>. [Último acceso: 17 Mayo 2022].
- [9] S. Ahmet, «EUROLAB,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.laboratuvar.com/es/testler/dezenfektan/malzeme-uyumlulugu-islanma-testi/>.
- [10] S. Ahmet, «EUROLAB,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.laboratuvar.com/es/testler/urun-yeterlilik-testleri/sivilar-ve-yakit-testi/>.
- [11] S. Ahmet, «EUROLAB,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.laboratuvar.com/es/testler/cevresel-testler/suya-batirma-testi/>.
- [12] S. Ahmet, «EUROLAB,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.laboratuvar.com/es/testler/cevresel-testler/suya-batirma-testi/>.
- [13] S. Ahmet, «EUROLAB,» 2020. [En línea]. Available: [https://www.laboratuvar.org/es/endustriyel/mil-std-810g-testleri/daldirma-testi-\(mil-std-810g-metod-5125\)/](https://www.laboratuvar.org/es/endustriyel/mil-std-810g-testleri/daldirma-testi-(mil-std-810g-metod-5125)/).
- [14] G. Center, «Ensayo de Niebla Salina,» GalvInfoNote, 2007.
- [15] M. Comas, «PROQUIMIA,» PROQUIMIA, 27 03 2018. [En línea]. Available: <https://www.proquimia.com/ensayos-climaticos-de-corrosion-en-superficies-pintadas/>. [Último acceso: 10 02 2023].

- [16] E. D. Padilla, Departamento Académico de Ingeniería Metalúrgica - UNMSM, [En línea]. Available: https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v02_n4/corrosion_atmosfera.htm. [Último acceso: 10 02 2023].
- [17] I. D. C. Y. PROTECCIÓN, «INSTITUTO DE CORROSIÓN Y PROTECCIÓN,» INSTITUTO DE CORROSIÓN Y PROTECCIÓN, 2013. [En línea]. Available: <https://icp.pucp.edu.pe/areas-de-trabajo/ensayos-especiales-de-corrosion/>. [Último acceso: 10 02 2023].
- [18] INFINITIA, «INFINITIA,» INFINITIA, 2023. [En línea]. Available: <https://www.infinitiaresearch.com/noticias/ensayos-de-corrosion-que-son-y-cuando-realizarlos/>. [Último acceso: 10 02 2023].
- [19] ARANDELAS, «ARANDELAS,» ARANDELAS , [En línea]. Available: <https://www.muellesdeplatillo.com/content/ensayos-con-fatiga>. [Último acceso: 10 02 2023].
- [20] D. O. Álvarez, «concepto,» 15 Julio 2021. [En línea]. Available: <https://concepto.de/corrosion/>.
- [21] G. J. T. Vargas, «Poscosecha,» Fitosanitarios, 04 Agosto 2018. [En línea]. Available: https://www.poscosecha.com/es/noticias/peroxido-de-hidrogeno-el-unico-agente-germicida-compuesta-solo-de-agua-y-oxigeno/_id:80724#:~:text=El%20peróxido%20de%20hidrógeno%20está,descompone%20en%20oxígeno%20y%20agua.. [Último acceso: 26 Mayo 2022].
- [22] AMOQUIMICOS, «AMOQUIMICOS COLOMBIA S.A.,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.amoquimicos.com/hipoclorito-de-sodio-para-prevenir-enfermedades>.
- [23] M. Jaeger, «Hipoclorito de Sodio.,» 09 diciembre 2010. [En línea]. Available: <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/45912-Soluciones-en-FRP-para-el-servicio-con-hipoclorito-sodico.html>.
- [24] G. d. España, «El OZONO COMO DESINFECTANTE,» insst, España, 2020.
- [25] G. I. Lafaurie, «SCIELO,» International journal of odontostomatology, 2015. [En línea]. Available: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-381X2015000300019. [Último acceso: 26 Mayo 2022].
- [26] «AXÓN,» AXÓN, 11 Octubre 2020. [En línea]. Available: [https://axoncomunicacion.net/que-es-el-acido-hipocloroso/#:~:text=El%20ácido%20hipocloroso%20\(HClO\)%20es,%2C%20formando%20hipocloritos%20\(CIO-\).](https://axoncomunicacion.net/que-es-el-acido-hipocloroso/#:~:text=El%20ácido%20hipocloroso%20(HClO)%20es,%2C%20formando%20hipocloritos%20(CIO-).) [Último acceso: 03 Junio 2022].
- [27] safetYA, «safetYA,» 25 noviembre 2021. [En línea]. Available: <https://safetya.co/matriz-de-compatibilidad-de-productos-quimicos/>.
- [28] «SafetYA,» SafetYA, 2019. [En línea]. Available: <https://safetya.co/matriz-de-compatibilidad-de-productos-quimicos/https://egestec.com/sobre-egestec/>. [Último acceso: 17 Mayo 2022].
- [29] M. d. S. y. p. social, «RESOLUCIÓN 777 DE 2021,» Estado Colombiano, Bogotá, 2021.
- [30] M. d. trabajo, «Decreto número 1496,» República de Colombia, Bogotá, 2018.
- [31] R. d. Colombia, «Resolución Número 0773 de 2021,» *Ministerio de trabajo*, pp. 1-10, 2021.

- [32] Ministerio, «Resolución Número 0312 de 2019,» *Ministerio de trabajo*, pp. 1-36, 2019.
- [33] M. D. TRABAJO, «DECRETO NÚMERO 1496 DE 2018,» *REPÚBLICA DE COLOMBIA*, pp. 1-9, 2018.
- [34] A. P. ARANGO, «DECRETO 1609 DE 2002,» *Diario oficial*, pp. 1-15, 2002.
- [35] ANLA, «EUREKA,» 1990. [En línea]. Available: <https://www.anla.gov.co/eureka/normatividad/decretos/1257-decreto-1973-de-1995-promulga-el-convenio-170-sobre-la-seguridad-en-la-utilizacion-de-los-productos-quimicos-en-el-trabajo-adoptado-por-la-conferencia-general-de-la-organizacion-internacional-del-t>.
- [36] «De Seguridad y Salud,» 2019. [En línea]. Available: <https://deseguridadysalud.com/ley-1968-de-2019-prohibicion-del-asbesto/>. [Último acceso: 17 Mayo 2022].
- [37] EVA, «FUNCIÓN PÚBLICA,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=87910>.
- [38] «UNE Normalización Española,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0044517>. [Último acceso: 25 Mayo 2022].
- [39] EUROLAB, «EUROLAB,» 2022. [En línea]. Available: [https://www.laboratuar.com/es/testler/kimyasal-testler/en-iso-11885-su-kalitesi---enduktif-olarak-birlestirilmis-plazma-optik-emisyon-spektrometrisi-\(icp-oes\)-ile-secilen-elementlerin-belirlenmesi/](https://www.laboratuar.com/es/testler/kimyasal-testler/en-iso-11885-su-kalitesi---enduktif-olarak-birlestirilmis-plazma-optik-emisyon-spektrometrisi-(icp-oes)-ile-secilen-elementlerin-belirlenmesi/).
- [40] A. E. d. N. y. Certificación, «Determinación de elementos seleccionados por espectrometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES),» norma española, Madrid, 2010.
- [41] E. Quintana, «TÉRMINOS Y DEFINICIONES USADAS CON RELACIÓN A MATERIALES DE REFERENCIA (GUÍA ISO 30:1992+ Amd, 1:2008, IDT),» *INEN*, pp. 1-7, 2014.
- [42] E. STANDARDS, «EUROPEAN STANDARDS,» 2022. [En línea]. Available: https://www.en-standard.eu/bs-en-iso-3696-1995-water-for-analytical-laboratory-use-specification-and-test-methods/?gclid=EAlaQobChMIqLahbX7-gIVkNOGCh38eg-XEAYASAAEgIB1fD_BwE.
- [43] ISO, «ISO,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.iso.org/standard/72369.html>.
- [44] e. standars, «european standars,» 2022. [En línea]. Available: https://www.en-standard.eu/bs-en-iso-7027-1-2016-water-quality-determination-of-turbidity-quantitative-methods/?gclid=EAlaQobChMI1_aqh737-gIVAEiGCh2hWQt6EAYASAAEgIsUvD_BwE.
- [45] ISO, «ISO,» 2002. [En línea]. Available: <https://www.iso.org/standard/31354.html>.
- [46] iso, «iso,» 2002. [En línea]. Available: <https://www.iso.org/standard/31355.html>.
- [47] «intertek,» intertek, [En línea]. Available: [https://www.intertek.es/quimicos/analisis-icp/#:~:text=El%20análisis%20por%20ICP%20\(Inductively,de%20análisis%20de%20metales%20traza..](https://www.intertek.es/quimicos/analisis-icp/#:~:text=El%20análisis%20por%20ICP%20(Inductively,de%20análisis%20de%20metales%20traza..) [Último acceso: 25 Mayo 2022].
- [48] upo, «PRÁCTICA 4. ESPECTROFOTOMETRÍA,» *UPO*, pp. 1-6.
- [49] C. Carnevali, «Procedimiento para la determinación de la resistencia de polarización lineal.,» 2018.

- [50] J. C. Caicedo-Eraso, «Espectroscopia de impedancia eléctrica aplicada al control de calidad en la industria alimentaria,» Universidad de Caldas, Manizales, 2019.
- [51] EC, «El Confidencial,» 03 Septiembre 2020. [En línea]. Available: https://www.elconfidencial.com/decompras/2020-09-03/mejores-10-microscopios-del-mercado_2722703/.
- [52] «PRÁCTICA 4. ESPECTROFOTOMETRÍA».
- [53] Quirumed, «Quirumed,» 2022. [En línea].
- [54] V. Gómez, «CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS,» Facultad Regional Tucumán.
- [55] «QUOTE,» QUOTE, 2022. [En línea]. Available: <https://www.reliance-foundry.com/blog/acero-inoxidable-304-vs-316-es>. [Último acceso: 25 Mayo 2022].
- [56] «REHAU,» REHAU, [En línea]. Available: <https://www.rehau.com/es-es/que-es-el-pvc>. [Último acceso: 25 Mayo 2022].
- [57] PAVCO, «PAVCO,» 2022. [En línea]. Available: <https://pavcowavin.com.co/tubosistemas-pvc-cpvc-y-sch80#:~:text=Sistema%20de%20tuber%C3%ADa%20y%20accesorios%20PVC%20SCH%2080C%20SCH%2080,con%20incremento%20de%20la%20temperatura..>
- [58] yuridia, «PLAREMESA,» PLAREMESA, [En línea]. Available: <https://www.plaremesa.net/que-es-prfv/>. [Último acceso: 25 Mayo 2022].
- [59] Amiblu, 2022. [En línea]. Available: <https://www.amiblu.com/es/por-que-prfv/>.
- [60] J. Solorio, «CORZAN INDUSTRIAL SYSTEM,» CORZAN INDUSTRIAL SYSTEM, 11 Diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.corzan.com/blog-sp/diferencia-entre-cpvc-corzan-y-pvc>. [Último acceso: 25 Mayo 2022].
- [61] I. S. R. Francia, «SISBIB,» SISBIB, 2003. [En línea]. Available: https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v06_n11/material_corrosion.htm. [Último acceso: 15 11 2022].
- [62] «Carbotecnia,» Carbotecnia, 29 04 2021. [En línea]. Available: <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/dioxido-de-cloro-y-efectos-en-la-salud/>. [Último acceso: 15 11 2022].
- [63] C. G. C. Margarita Garcia Afanador, «Evaluación del dióxido de cloro como agente oxidante para la remoción de grasas en aguas provenientes de la industria de beneficio de pollo,» Ciencia Unisalle, Bogotá D.C., 2011.
- [64] D. U. M. D. ACERO, «DOBLAMOS UN MUNDO DE ACERO,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.doblamos.com/historia-acero-en-colombia/>.
- [65] M. S. d. Galicia, «Minería Sostenible de Galicia,» 13 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://minariasostenible.gal/es/todo-lo-que-deberias-saber-sobre-el-acero/>.
- [66] J. F. T. Osorio, «El mercado colombiano del acero estructural en el contexto de la globalización,» *Revista Ciencias Estratégicas*, pp. 1-21, 2017.

- [67] ANDI, «ANDI,» 25 junio 2021. [En línea]. Available: <https://www.andi.com.co/Home/Noticia/15992-precios-del-acero-en-colombia->.
- [68] LANOTA, «LANOTA,» 27 septiembre 2021. [En línea]. Available: <https://lanota.com/index.php/CONFIDENCIAS/ranking-2020-lideres-hierro-y-acero-de-colombia.html>.
- [69] L. REPÚBLICA, «LA REPÚBLICA,» 11 mayo 2021. [En línea]. Available: <https://www.larepublica.co/economia/la-industria-de-acero-genera-45-000-empleos-y-es-fundamental-para-la-reactivacion-3215442>.
- [70] SICEX, «SICEX,» 2022. [En línea]. Available: <https://sicex.com/blog/la-industria-del-plastico-representa-un-mercado-muy-productivo-en-colombia/>.
- [71] eINFORMA, «eINFORMA,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.einforma.co/informes-sectoriales/sector-empresas-acero-hierro>.
- [72] B. Santander, «Santander,» [En línea]. Available: <https://www.bancosantander.es/en/glosario/ebitda>.
- [73] economipedia, 2022. [En línea]. Available: <https://economipedia.com/definiciones/beneficio-neto.html>.
- [74] PLASTICO, «PLASTICO,» 31 marzo 2005. [En línea]. Available: <https://www.plastico.com/es/noticias/la-industria-del-pvc-en-colombia>.
- [75] L. REPÚBLICA, «LA REPÚBLICA,» 17 septiembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.larepublica.co/especiales/la-revolucion-del-plastico/transformadoras-de-empaques-las-empresas-que-mas-plastico-consumen-en-2021-3233799>.
- [76] LANOTA, «LANOTA,» 06 noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://lanota.com/index.php/CONFIDENCIAS/ranking-2019-insumos-plasticos-construccion-de-colombia.html>.
- [77] ABC, «mncn,» 11 septiembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.mncn.csic.es/es/Comunicaci%C3%B3n/financiar-la-industria-de-la-resina-es-mas-rentable-que-sufrir-los-efectos-derivados>.
- [78] V. Chica-Londoño, «Dióxido de cloro: la verdad toxicológica y el riesgo de las noticias falsas,» Universidad de Antioquia, Sabaneta, 2021.
- [79] J. E. S. V. L. Y. R. V. Zhe Zhang, «Effect of pipe corrosion scales on chlorine dioxide,» ScienceDirect, Pittsburgh, 2007.
- [80] L. T. a. B. W. Elisabet Alfonsson, «Corrosion in Chlorine Dioxide Bleach Environments-Experiences with Stainless Steels and Nickel-Base Alloys,» Acom, Stockholm.
- [81] J. A. S. Jiménez, «Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales,» Instituto tecnológico de Costa Rica, Costa Rica, 2015.
- [82] R. R. M. L. T. Iraci, «HAL,» 31 Mayo 2010. [En línea]. Available: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00301041>. [Último acceso: 26 Mayo 2022].

ANEXOS

ANEXO 1.
COMPORTAMIENTO DEL ACERO AL CARBONO.

Figura 24.

Acero Carbón (Blanco)



Nota. En la figura se muestra el Blanco de prueba del Acero al carbono.

Figura 25.

Acero Carbón Primera Semana.



Nota. En la figura se muestra el Acero al carbono después de estar expuesto una semana al Dióxido de Cloro.

Figura 26.

Acero Carbón Segunda Semana.



Nota. En la figura se muestra el Acero al carbono después de estar expuesto dos semanas al Dióxido de Cloro.

Figura 27.

Acero Carbón Tercera Semana.



Nota. En la figura se muestra el Acero al carbono después de estar expuesto tres semanas al Dióxido de Cloro.

Figura 28.

Acero Carbón Cuarta Semana.



Nota. En la figura se muestra el Acero al carbono después de estar expuesto cuatro semanas al Dióxido de Cloro.

ANEXO 2.

COMPORTAMIENTO DEL ACERO INOX 304.

Figura 29.

Acero INOX 304 (Blanco).



Nota. En la figura se muestra el Blanco de prueba del Acero INOX 304.

Figura 30.

Acero INOX 304 Primera Semana.



Nota. En la figura se muestra el Acero INOX 304 después de estar expuesto una semana al Dióxido de Cloro.

Figura 31.

Acero INOX 304 Segunda Semana.



Nota. En la figura se muestra el Acero INOX 304 después de estar expuesto dos semanas al Dióxido de Cloro.

Figura 32.

*Acero INOX 304 Tercera
Semana.*



Nota. En la figura se muestra el Acero INOX 304 después de estar expuesto tres semanas al Dióxido de Cloro.

Figura 33.

Acero INOX 304 Cuarta Semana.



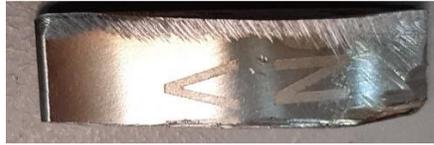
Nota. En la figura se muestra el Acero INOX 304 después de estar expuesto cuatro semanas al Dióxido de Cloro.

ANEXO 3.

COMPORTAMIENTO DEL ACERO INOX 316.

Figura 34.

Acero INOX 316 (Blanco).



Nota. En la figura se muestra el Blanco de prueba del Acero INOX 316.

Figura 35.

*Acero INOX 316 Primera
Semana.*



Nota. En la figura se muestra el Acero INOX 316 después de estar expuesto una semana al Dióxido de Cloro.

Figura 36.

*Acero INOX 316 Segunda
Semana.*



Nota. En la figura se muestra el Acero INOX 316 después de estar expuesto dos semanas al Dióxido de Cloro.

Figura 37.

*Acero INOX 316 Tercera
Semana.*



Nota. En la figura se muestra el Acero INOX 316 después de estar expuesto tres semanas al Dióxido de Cloro.

Figura 38.

Acero INOX 316 Cuarta Semana.



Nota. En la figura se muestra el Acero INOX 316 después de estar expuesto cuatro semanas al Dióxido de Cloro.

Figura 39.

Fibra de Vidrio (Blanco).



Nota. En la figura se muestra el Blanco de prueba de la Fibra de vidrio.

Figura 40.

Fibra de Vidrio Primera Semana.



Nota. En la figura se muestra de Fibra de vidrio después de estar expuesto una semana al Dióxido de Cloro.

Figura 41.

Fibra de Vidrio Segunda Semana.



Nota. En la figura se muestra de Fibra de vidrio después de estar expuesto dos semanas al Dióxido de Cloro.

Figura 42.

Fibra de Vidrio Tercera Semana.



Nota. En la figura se muestra de Fibra de vidrio después de estar expuesto tres semanas al Dióxido de Cloro.

Figura 43.

Fibra de Vidrio Cuarta Semana.



Nota. En la figura se muestra de Fibra de vidrio después de estar expuesto cuatro semanas al Dióxido de Cloro.

ANEXO 4.

COMPORTAMIENTO DEL PVC SCH 80.

Figura 44.

PVC SCH 80 (Blanco).



Nota. En la figura se muestra el Blanco de prueba del PVC SCH 80.

Figura 45.

PVC SCH 80 Primera Semana.



Nota. En la figura se muestra del PVC SCH 80 después de estar expuesto una semana al Dióxido de Cloro.

Figura 46.

PVC SCH 80 Segunda Semana.



Nota. En la figura se muestra del PVC SCH 80 después de estar expuesto dos semanas al Dióxido de Cloro.

Figura 47.

PVC SCH 80 Tercera Semana.



Nota. En la figura se muestra del PVC SCH 80 después de estar expuesto tres semanas al Dióxido de Cloro.

Figura 48.

PVC SCH 80 Cuarta Semana.



Nota. En la figura se muestra del PVC SCH 80 después de estar expuesto cuatro semanas al Dióxido de Cloro.

ANEXO 5

RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta el comportamiento que tienen los materiales respecto a una exposición directa a la solución de Dióxido de Cloro, y evidenciando los diferentes cambios que genera dicha exposición, es necesario la realización de pruebas, pero de manera indirecta, en este caso involucrando directamente el gas de Dióxido de Cloro.

Es posible la realización de las mismas pruebas, pero variando los materiales, en donde se involucren metales más resistentes o provenientes de otro tipo de material, como el cerámico, polímeros, etc.

Basando las anteriores pruebas realizadas con un desinfectante de concentración constante, es recomendable, tratar de variar dicha concentración en diferentes rangos, para poder analizar más a fondo el comportamiento de los materiales respecto a un desinfectante en diferentes condiciones físicas y químicas.