

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas Carrera de
Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico

ESTUDIO DE RECUBRIMIENTOS NANOTECNOLÓGICOS DE PELÍCULAS DELGADAS PARA MINIMIZAR LA CORROSIÓN EN LOS ELEMENTOS COMPONENTES DE ACERO GALVANIZADO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

Trabajo de grado presentado ante la Ilustre Universidad Técnica del Norte previo a la
obtención del título de grado de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico.

Autor:

Geovanny Israel Torres Hinojosa

Director:

Ing. Guerra Masson Julio Esteban

IBARRA – ECUADOR

2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100385595-2		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Torres Hinojosa Geovanny Israel		
DIRECCIÓN:	Ibarra		
EMAIL:	gitorresh@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062 651 472	TELÉFONO MÓVIL:	0994993672
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	Estudio de recubrimientos nanotecnológicos en base al análisis de películas delgadas para minimizar la corrosión en los elementos componentes de acero galvanizado de la red de distribución eléctrica.		
AUTOR (ES):	Torres Hinojosa Geovanny Israel		
FECHA: DD/MM/AAAA	16/02/2023		
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO		
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico		
ASESOR /DIRECTOR:'	Ing. Julio Guerra MSc.		



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 5 días del mes de marzo del 2023

EL AUTOR:

Torres Hinojosa Geovanny Israel



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

Ing. Julio Guerra MSc.

CERTIFICA

Que después de haber examinado el presente trabajo de investigación elaborado por el señor estudiante: Torres Hinojosa Geovanny Israel, certifico que ha cumplido con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado: **"ESTUDIO DE RECUBRIMIENTOS NANOTECNOLÓGICOS EN BASE AL ANÁLISIS DE PELÍCULAS DELGADAS PARA MINIMIZAR LA CORROSIÓN EN LOS ELEMENTOS COMPONENTES DE ACERO GALVANIZADO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA"** para la obtención del título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico.

Ing. Julio Guerra MSc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DEDICATORIA

El esfuerzo de este trabajo lo dedico:

Primeramente, a mi Dios por guiar mi camino con su bendición y por darme la fortaleza, paciencia y sabiduría necesaria para cumplir con mi formación profesional, permitiéndome adquirir los conocimientos necesarios para continuar un nuevo ciclo en mi vida profesional.

A mi madre por ser el pilar fundamental en mi vida, por brindarme el apoyo incondicional en los momentos más difíciles, por hacer de mí una buena persona con valores y principios, ya que con su sacrificio pude terminar mis estudios para enfrentar los problemas de la vida con esfuerzo y dedicación.

A mis abuelitos María y Fabian por estar presente en mi vida desde la infancia hasta el día de hoy que termino el capítulo más hermoso de mi vida, siendo más que abuelos mis segundos padres que con paciencia y bondad corrigieron mis falencias convirtiéndolas en fortalezas.

A mis tías por cuidarme desde pequeño inculcándome valores de perseverancia y constancia en mi vida estudiantil, apoyándome moral y económicamente ante los problemas que se presentaron día a día, dándome la confianza necesaria que solo un hermano te puede brindar.

A mi hermano Darwin Torres por ayudarme moral y económicamente en mis estudios universitarios, más que un hermano fue el padre que no tuve a mi lado, ya que hoy en día no se encuentra a mi lado puedo decir que sus consejos han sido el impulso principal para luchar y conseguir mis metas anheladas.

Geovanny Israel Torres Hinojosa



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

AGRADECIMIENTO

Mi eterno agradecimiento a Dios y a mi familia, en especial a mi madre ya que, a pesar de no tener un padre, ha significado padre y madre en mi vida estudiantil brindándome comprensión, confianza, perseverancia, apoyo, cariño y por la oportunidad de ayudarme a conseguir una carrera universitaria.

Agradezco a mis abuelitos por educarme, instruirme y dirigirme desde los 3 años hasta los 20 años a pesar de la adversidad han conseguido sacarme adelante y nunca desmayar en el día a día.

Agradezco a la Universidad Técnica del Norte por darme la formación disciplinaria base para realizarme como profesional y persona.

Agradezco a mi tutor Ing. JULIO ESTEBAN GUERRA MASSON., Esp.- MSc., por brindarme su tiempo, conocimiento y apoyo, por ser mi guía para realizar mi trabajo de titulación con éxito.

A mis compañeros y amigos por estar conmigo y hacer de la universidad una experiencia muy bonita.

Geovanny Israel Torres Hinojosa

TABLA DE CONTENIDO

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	I
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
TABLA DE CONTENIDO	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XI
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XIV
A1. Contextualización.....	XIV
A2. Planteamiento del problema.....	XV
A3. Formulación del problema.....	XVI
A4. Justificación del trabajo.....	XVI
A5. Alcance del trabajo.....	XVII
A6. Viabilidad del trabajo.....	XVIII
A7. Objetivo general.....	XVIII
A8. Objetivos específicos.....	XVIII
Capítulo 1 Revisión sistemática de recubrimientos nanotecnológicos anticorrosivos	1
1.1. Corrosión	1
1.1.1. Factores que influyen en la corrosión.....	2
1.1.2. Clasificación de la corrosión	3
1.1.3. Efectos de la corrosión sobre componentes metálicos.....	8
1.1.4. Efectos de la corrosión en los elementos componentes de red de distribución eléctrica.....	11
1.2. Recubrimientos nanotecnológicos	14

1.2.1.	Tipos de recubrimientos nanotecnológicos	15
1.2.2.	Aplicaciones de los Nano-recubrimientos eléctricos.....	18
1.3.	Revisión sistemática	19
1.3.1.	Criterio de búsqueda.....	19
1.3.2.	Análisis sistemático.....	22
1.3.3.	Análisis bibliométrico	31
Capítulo 2 Diseño de simulación computacional de estructuras con recubrimiento		
	nanoestructurados	33
2.1.	Introducción	33
2.2.	Descripción del campo de estudio	33
2.3.	Diagrama de procesos	34
2.4.	Herramientas de estadística y simulación de ingeniería	36
2.4.1.	SolidWorks	36
2.4.2.	Excel.....	36
2.4.3.	Vosviewer	36
2.4.4.	Scopus.....	36
2.4.5.	Ansys.....	37
2.5.	Recubrimientos seleccionados.....	37
2.5.1.	Nanopartículas de Dióxido de Titanio (TiO ₂)	37
2.5.2.	Nanopartículas de grafeno (GO)	38
2.5.3.	Nanopartículas de óxido de silicio (SiO ₂)	40
2.6.	Diseño de componentes para simular en SolidWorks	41
2.6.1.	Abrazadera	41
2.6.2.	Bastidor rack.....	42
2.6.3.	Cruceta	43
2.7.	Simulación de la gradiente de corrosión en piezas seleccionadas	43
2.7.1.	Modelo de reacción electroquímica.....	44

2.7.2.	Caracterización geométrica del equipo de estudio	44
2.7.3.	Elaboración del solido de estudio.....	45
2.7.4.	Elaboración del ensamble de la pieza para el estudio.....	46
2.8.	Simulación del modelo CAD en el software Ansys Fuent	46
Capítulo 3 Análisis comparativo de los recubrimientos nanoestructurados		56
3.1.	Introducción	56
3.2.	Resultados de la caracterización inicial del acero galvanizado sin recubrimiento	56
3.3.	Resultado del acero galvanizado con recubrimientos nanoestructurados	59
3.4.	Resultados de la gradiente de corrosión.....	60
3.5.	Estimación de la pérdida de masa	65
CONCLUSIONES		71
RECOMENDACIONES		72
REFERENCIAS		73
ANEXOS.....		90
ANEXO A: ELEMENTOS COMPONENTES DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA		90
ANEXO B: COSTO POR CAMBIO DE ALIMENTADOR EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA.....		94
ANEXO C: PLANOS MECANICOS DE LOS ELEMENTOS -COMPONENTES SELECCIONADOS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA.....		974

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Corrosión en poste de iluminación de acero galvanizado.	1
Fig. 2. Corrosión uniforme en un metal.	3
Fig. 3. Corrosión localizada en un metal.	4
Fig. 4. Corrosión intergranular en el acero inoxidable.	4
Fig. 5. Corrosión por picado.	5
Fig. 6. Corrosión galvánica entre dos metales de distinta naturaleza.	5
Fig. 7. Corrosión por aireación diferencial.	6
Fig. 8. Corrosión selectiva en el latón.	6
Fig. 9. Corrosión Fisurante en el metal.	7
Fig. 10. Corrosión por cavitación.	7
Fig. 11. Visualización del número de artículos según el criterio de búsqueda con respecto al año de publicación.	19
Fig. 12. Visualización de red de coocurrencia de tipos de recubrimiento utilizados contra la corrosión.	31
Fig. 13. Red de visualización de la tendencia del estudio de materiales desde el año 2015 hasta la actualidad.	32
Fig. 14. Diagrama de bloques del estudio y selección de recubrimientos nanotecnológicos para minimizar la corrosión.	35
Fig. 15. Espectroscopía fotoelectrónica de rayos X de las nanopartículas de Dióxido de Titanio (TiO ₂)	38
Fig. 16. Estructura del Grafeno.	39
Fig. 17. Técnica SEM de medición de las nanopartículas de Silicio a temperatura ambiente.	40
Fig. 18. Abrazadera pletina de 4mm con pernos de rosca corrida de 12mm de acero galvanizado.	42
Fig. 19. Bastidor de 1vía de 38 * 4 mm de acero galvanizado.	42
Fig. 20. Cruceta de perfil L 100*100*10mm longitud 2m de acero galvanizado.	43
Fig. 21. Abrazadera analizada.	45
Fig. 22. Abrazadera seleccionada.	45
Fig. 23. Abrazadera con volumen de aire.	46
Fig. 24. Ícono de Fluent.	47
Fig. 25. Static Structural (Ansys).	47
Fig. 26. Geometría en Ansys.	47
Fig. 27. Mallado.	48

Fig. 28. Recomendaciones de calidad malla ANSYS®.....	49
Fig. 29. Ventana del setup de ANSYS®.....	50
Fig. 30. Ventana del setup de ANSYS®.....	50
Fig. 31. Configuraciones del setup de ANSYS®.....	51
Fig. 32. Configuraciones de las fases en el setup de ANSYS®.....	51
Fig. 33. Selección/Edición de material	52
Fig. 34. Configuraciones de las condiciones zonales en el setup de ANSYS®.	52
Fig. 35. Condiciones de frontera.	53
Fig. 36. Configuración de valores de referencia.	53
Fig. 37. Simulación del modelo en ANSYS®.....	54
Fig. 38. CFD Post-Abrazadera.....	54
Fig. 39. Simulación del componente de acero galvanizado en ANSYS®.....	58
Fig. 40. Simulación del componente de acero galvanizado en condiciones salinas en ANSYS®.	59
Fig. 41. Simulación del componente de acero galvanizado recubierta con TiO ₂ en ANSYS®. ...	61
Fig. 42. Simulación del componente de acero galvanizado recubierta con GE en ANSYS®.	62
Fig. 43. Simulación del componente de acero galvanizado recubierta con SiO ₂ en ANSYS®. ...	63

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 1 Factores que influyen en la corrosión.....	2
TABLA 1 2. Efectos de la corrosión sobre componentes metálicos.....	8
TABLA 1 3 <i>Categoría de la corrosividad atmosférica según la norma ISO 12944</i>	10
TABLA 1 4 Categoría de la corrosión a partir del primer año de exposición.....	10
TABLA 1 5 Categorización de la atmosfera de acuerdo con los factores de tiempo de humectación.	11
TABLA 1 6 Efectos de la corrosión en la red de distribución eléctrica.	12
TABLA 1 7 Efecto económico de la corrosión en la red eléctrica.....	13
TABLA 1 8 Tipos de recubrimientos nanotecnológicos.....	15
TABLA 1 9 Aplicaciones de los recubrimientos nanotecnológicos en la parte eléctrica.	18
TABLA 1 10. Top diez de los documentos más citados ((nanotechnology or nanocoating) and corrosión).....	20
TABLA 1 11 Análisis sistemático de los recubrimientos nanotecnológicos que minimizan la corrosión.....	23
TABLA 2,2. Propiedades de las nanopartículas de dióxido de titanio.....	38
TABLA 2.3. Propiedades de las nanopartículas del grafeno.....	39
TABLA 2.4. Propiedades de las nanopartículas de óxido de silicio.....	41
TABLA 2.5 Estadísticas y métricas del mallado.....	49
TABLA 3.1 Propiedades del acero galvanizado.....	57
TABLA 3 2 Parámetros de estimación de pérdida de masa.....	57
TABLA 3. 3 Resultados simulación nanopartículas de TiO ₂	59
TABLA 3. 4 Resultado simulación nanoparticulas de GE.....	60
TABLA 3.5 Resultado simulación nanopartículas de SiO ₂	60
TABLA 3.6 Gradiente de la corrosión de las nanopartículas -TiO ₂ , GE, SiO ₂).....	61
TABLA 3 7 Concentración de nanopartículas sobre la superficie de la abrazadera.....	64
TABLA 3. 8 Gradiente de corrosión.....	64
TABLA 3.9 Datos de pérdidas de masa.....	67
TABLA 3,10 Datos de pérdidas de masa.....	68
TABLA 3.11 Masa total por año.....	69
TABLA 3.12 Relación de perdida por año.....	70

RESUMEN

En la actualidad el desgaste por corrosión sobre los metales instalados a la intemperie ha ido aumentando exponencialmente y con ello los costos por mantenimiento o reemplazo del componente corroído, la industria eléctrica hoy en día emplea el galvanizado como material protector ante la corrosión, recalcando que existen materiales que no son compatibles con el galvanizado por lo que se opta por buscar otros materiales para minimizar la corrosión. Ante esta problemática, se ha propuesto la aplicación de recubrimientos nanotecnológicos que serán depositados en la superficie de los elementos componentes de la red de distribución eléctrica para reducir el daño por corrosión y costos económicos puesto que la obtención de estas nanopartículas es accesible económicamente y amigables con el medio ambiente.

La selección de las nanopartículas se realizó mediante un análisis bibliográfico en la base de datos Scopus, considerando el tipo de superficie de aplicación y medio agresivo se obtuvo los siguientes resultados: Dióxido de Titanio TiO_2 , Grafeno GE y Óxido de Silicio SiO_2 , para comprobar las propiedades de las nanopartículas se realizó un diseño SolidWorks para depositar las nanopartículas en la pieza diseñada y ver la gradiente de corrosión en el software AnsysFluent.

Como resultado del estudio se depositó sobre el acero galvanizado nanopartículas de TiO_2 , GE y SiO_2 y se realizó el cálculo de estimación de pérdida de masa con respecto a tiempo obteniendo los siguientes datos: las nanopartículas de TiO_2 con pérdida de masa de $7,82E-08$ kg/s, las nanopartículas de grafeno (GE) tienen una pérdida de masa de $5,41E-08$ kg/s y las nanopartículas de SiO_2 con un valor de $6,88E-09$ kg/s. El acero galvanizado en condiciones de laboratorio se degrada diez veces más rápido que los recubrimientos nanotecnológicos, por tal manera la abrazadera con depósito de nanopartículas puede trabajar los primeros 30 años sin ningún problema.

Palabras clave: Nanocompositos, reacción electroquímica, resistencia estructural.

ABSTRACT

At present, wear due to corrosion on metals installed outdoors has been increasing exponentially and with it the costs for maintenance or replacement of the corroded component, the electrical industry today uses galvanizing as a protective material against corrosion, emphasizing that there are materials that are not compatible with galvanizing, so other materials are chosen to minimize corrosion. Faced with this problem, the application of nanotechnological coatings has been proposed, which will be deposited on the surface of the component elements of the electrical distribution network to reduce corrosion damage and economic costs since obtaining these nanoparticles is economically accessible and eco-friendly environment.

The selection of the nanoparticles was carried out through a bibliographical analysis in the Scopus database, considering the type of application surface and aggressive medium, the following results were obtained: Titanium Dioxide TiO_2 , Graphene GE and Silicon Oxide SiO_2 , to verify the Properties of the nanoparticles, a SolidWorks design was made to deposit the nanoparticles in the designed part and see the corrosion gradient in the AnsysFluent software.

As a result of the study, nanoparticles of TiO_2 , GE and SiO_2 were deposited on the galvanized steel and the mass loss estimation regarding to time was calculated, obtaining the following data: TiO_2 nanoparticles with mass loss of $7,82\text{E}-08$ kg/s, graphene nanoparticles (GE) have a $5,41\text{E}-08$ kg/s mass loss and SiO_2 nanoparticles have a value of $6,88\text{E}-09$ kg/s. Galvanized steel under laboratory conditions degrades ten times faster than nanotechnological coatings, therefore, the nanoparticle deposit clamp can work for the first 30 years without any problem.

Keywords: Nanocomposites, electrochemical reaction, structural strength.

INTRODUCCIÓN

A1. Contextualización.

Actualmente la energía eléctrica con los avances tecnológicos ha mejorado continuamente en el mundo, implementando procesos y garantizando la calidad de servicio eléctrico a pequeñas y grandes industrias quienes son los principales beneficiarios, puesto que operan continuamente y sin perder recursos económicos por inoportunos cortes de energía. El sistema eléctrico de energía tiene como finalidad la generación, transmisión, transporte y distribución de energía eléctrica de manera eficiente y segura hasta el punto de consumo, pero en el transcurso del proceso pueden presentarse fallas en los elementos y componentes aislantes de la red de distribución eléctrica, ya que están sometidos a cambios climáticos que últimamente están generándose alrededor del mundo. En Estados Unidos mediante un informe de la Administración Federal, dio a conocer que las consecuencias del cambio climático en el país han ocasionado pérdidas por ruptura en líneas de distribución y obras civiles, debido al excesivo porcentaje de corrosión estimando un valor de USD 500.000 millones, que representa el 3,1 % del producto interno bruto del país equivalente a 6 veces el costo invertido por desastres naturales en Estados Unidos. (Laboratories, G2MT)

La corrosión es un fenómeno que tiene grandes consecuencias puesto que genera cuantiosas pérdidas económicas que exigen mantenimiento y en muchos casos reemplazos en estructuras de transmisión, componentes aislantes y equipos de subestación. (Salazar, 2015) Los principales contaminantes existentes en el aire son los cloruros y sulfatos, por otra parte, las condiciones climáticas como la temperatura, humedad relativa y el tiempo de humectación que pueden soportar el acero, aluminio cobre y acero galvanizado por exposición, incrementan la degradación y reducción de la vida útil en los elementos y componentes instalados que interconectan el sistema eléctrico. (Molina, Juan; Villada, Fernando, 2011)

En Colombia mediante un estudio realizado en los sistemas de distribución determinaron el porcentaje de corrosión máxima que existe en las partes instaladas de acuerdo a la zona, estableciendo que en la zona Rural la corrosión máxima es de 1,4%, en la zona urbana es de 1,2%, en la zona industrial es de 1,5% y en la zona marina es de 5,6% que corresponde al 7,9% es decir un costo de \$17,3 billones de pesos colombianos anuales por reemplazos en el sistema de distribución. (Molina, Juan; Villada, Fernando, 2011)

En Ecuador los cambios climáticos que se presentan contribuyen a la concentración de corrosión en la red de distribución eléctrica, esto se debe a que en la región Litoral existe altas concentraciones de composiciones salinas en el aire, en la región Amazónica se origina por la

alta presencia de humedad lo que produce el envejecimiento y pérdidas en las propiedades del acero galvanizado en las estructuras de transporte de energía eléctrica, las mismas que son construidas en alturas superiores no visibles para su detección y posterior mantenimiento. La corrosión se origina cuando los agentes contaminantes entran en contacto con los metales, por medio de la humedad estos se disuelven adhiriéndose en el metal y comprometiendo el funcionamiento de los componentes del sistema eléctrico, dado que soportan el paso de corriente eléctrica formando una célula electrolítica que con el paso del tiempo descompone el metal ocasionando pérdida de operatividad lo que exige un reemplazo necesario, además en los equipos instalados en una subestación se evidencia este fenómeno por el cambio de tonalidad de color, por lo general suele presentarse zonas claras que es la del material y zonas oscuras que demuestran el porcentaje de corrosión existente en el equipo, que sin un plan de mantenimiento preventivo a realizar ocasionaría graves daños a los demás equipos al no operar de forma confiable y segura. (Escuela Politécnica Nacional, 2016)

Es importante tener en cuenta que la corrosión no es la misma en diferentes lugares, la velocidad de corrosión aumenta en ambientes húmedos, en ambientes que presenta alta concentración de salinidad o en ciudades industrializadas debido a la emisión de gases por lo que se ve necesario implementar sistemas de control de corrosión, esto dependerá del porcentaje de corrosión que exista en el medio ambiente. (RIVER, 2019)

ISO organizo un comité técnico TC156 para normalizar los ensayos de corrosividad con el propósito de comparar los estudios realizados en el campo sin importar el país que lo realice partiendo de la data de corrosividad para el desarrollo de un recubrimiento nanotecnológico. (RIVER, 2019)

En la Universidad Politécnica del Ecuador se realizó un estudio sobre la “La corrosividad atmosférica en la ciudad de Esmeraldas” empleando probetas metálicas de acero al carbono, aluminio y Zinc para determinar el impacto que ocasiona en equipos y estructuras industriales debido a la emisión de gases de la Refinería Estatal de Esmeraldas y La central Termoeléctrica Termo Esmeraldas. (Vinueza , 2009)

A2. Planteamiento del problema.

Los sistemas de distribución de energía se caracterizan por operar a condiciones ambientales agresivas, esto los hace vulnerables a los efectos de la corrosión por acción al ambiente de servicio en la que se encuentran instalados, debido a que están expuestos a la presencia de salinidad, humedad y agentes químicos contaminantes que afectan a los elementos componentes de acero galvanizado, deteriorando la protección de zinc ocasionando pérdidas

funcionales y en su estructura con respecto al tiempo de exposición. Por esta razón, las pérdidas económicas por corrosión en las empresas distribuidoras de energía representan entre el 3 – 5% del producto interno bruto en los países industrializados estableciendo como una consecuencia potencialmente costosa a nivel mundial. (Laboratories, G2MT). Existen zonas con mayores porcentajes de deterioro como por ejemplo aquellas que conforman el ensamblaje de la torre de transmisión, puesto que son sometidas al impacto del viento. El deterioro en ellas es significativo, debido a que el viento es un medio por el cual los agentes contaminantes se desplazan en el ambiente con la capacidad de adherirse en la torre de transmisión, minimizando la vida útil y aumentando los gastos económicos por operación y mantenimiento en la red de distribución eléctrica.

A3. Formulación del problema.

¿Cuáles son los recubrimientos nanotecnológicos en base a películas delgadas que presentan propiedades anticorrosivas más eficientes para minimizar el desgaste por corrosión en estructuras, componentes aislantes y equipos de subestación de acero galvanizado?

A4. Justificación del trabajo.

Debido a las excesivas pérdidas económicas a nivel mundial por el fenómeno de corrosión es necesario estudiar y analizar las diferentes tecnologías, como son el desarrollo de recubrimientos nanotecnológicos para prevenir la misma y estabilizar la funcionalidad en la red de distribución eléctrica y de esta manera evitar gastos innecesarios, puesto que las compañías eléctricas tendrán una eficiencia económica y confiabilidad en el sistema eléctrico.

La siguiente investigación contribuirá a minimizar la corrosión y mejorar la protección en estructuras, componentes y equipos de subestaciones, considerando las condiciones en las que se encuentran instalados durante su tiempo de servicio para conocer el efecto de la corrosividad que existe en el medio ambiente. El estudio de recubrimientos nanotecnológicos en la actualidad es un avance tecnológico, puesto que la red de distribución eléctrica se ha convertido en un centro de grandes pérdidas económicas, en consecuencia al reemplazo o pérdida de funcionalidad por parte de los elementos componentes, el desgaste en el acero galvanizado en algunos casos es considerable ya que existe agentes contaminantes en mayores cantidades en regiones costeras por la salinidad presente en el aire y en amazónicas por alta presencia de humedad.

El propósito del trabajo es el estudio de recubrimientos en base a películas delgadas que poseen resistencia a la corrosión en los componentes y estructuras galvanizadas que conforman la red de distribución eléctrica, mediante la aplicación tecnológica de nanomateriales en la industria eléctrica. Esta investigación tiene como finalidad reducir el desgaste por corrosión del material, alargar la vida de los elementos y componentes que conforman la red de distribución eléctrica. En solución al trabajo se propone un análisis comparativo bajo una simulación computacional para verificar el comportamiento entre la película aislante en el acero galvanizado y los agentes contaminantes, con la finalidad de sustentar el estudio de recubrimientos nanotecnológicos como una solución viable ante la corrosión.

De acuerdo con estudios obtenidos los recubrimientos nanotecnológicos más empleados para minimizar la corrosión son los recubrimientos por pintura, se comportan como una barrera protectora con la función de cohibir la corrosión, una vez que se aplique el recubrimiento es necesario establecer un programa de mantenimiento teniendo en cuenta las condiciones atmosféricas. Este tipo de recubrimiento cumple la función de barrera protectora ante la corrosión en el material, demuestra resistencia al desgaste a condiciones ambientales, con el beneficio de no ser contaminante ante el medio ambiente y con la capacidad de implementación a la larga por parte de la Empresa Pública Estratégica Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP y sus unidades de negocio.

Esta investigación va dirigido a la industria eléctrica que presentan afectaciones en sus estructuras, componentes y equipos de subestación producidos por la corrosión, con la oportunidad de maximizar la vida útil y mantener una funcionalidad estable en la red de distribución eléctrica, lo que implica la reducción de costos a futuro por reemplazo.

A5. Alcance del trabajo

El siguiente trabajo de grado se basa en un estudio de recubrimientos nanotecnológicos que permitirán al material (acero galvanizado) tener propiedades mejoradas, proporcionando alta eficiencia de protección contra la corrosión en medios agresivos y sin contaminar el medio ambiente. Se realizará una comparativa en 3 recubrimientos nanotecnológicos con respecto a sus propiedades, características anticorrosivas y resistencia del recubrimiento mediante una simulación en piezas focalizadas con mayor concentración de corrosión, a fin de predecir el comportamiento de los recubrimientos en las superficies de las estructuras, componentes y equipos de subestaciones que conforman la red de distribución eléctrica, además por su avance tecnológico los recubrimientos nanotecnológicos contribuirán de forma considerable en el ahorro de costos económicos, puesto que se evitará el reemplazo de estructuras, componentes y

equipos de subestaciones a corto plazo. Mediante una simulación con software especializado se identificará el recubrimiento nanotecnológico que adquiera las propiedades anticorrosivas y que no alteren el funcionamiento de los elementos y componentes de la red de distribución eléctrica, considerando que están sometidos al transporte de tensión.

A6. Viabilidad del trabajo.

La siguiente investigación contribuirá a minimizar la corrosión y mejorar la protección en estructuras, componentes y equipos de subestaciones, considerando las condiciones en las que se encuentran instalados durante su tiempo de servicio para conocer el efecto de la corrosividad que existe en el medio ambiente. El estudio de recubrimientos nanotecnológicos en la actualidad es un avance tecnológico, puesto que la red de distribución eléctrica se ha convertido en un centro de grandes pérdidas económicas, en consecuencia al reemplazo o pérdida de funcionalidad por parte de los elementos componentes, el desgaste en el acero galvanizado en algunos casos es considerable ya que existe agentes contaminantes en mayores cantidades en regiones costeras por la salinidad presente en el aire y en amazónicas por alta presencia de humedad.

A7. Objetivo general.

Estudiar los tipos de recubrimientos nanotecnológicos de películas delgadas de nanopartículas en las superficies de estructuras, componentes aislantes y equipos de subestaciones de acero galvanizado para prevenir la corrosión.

A8. Objetivos específicos.

- ❖ Realizar una revisión sistemática de la aplicación de recubrimientos nanotecnológicos para protección contra la corrosión en materiales de acero galvanizado.
- ❖ Diseñar una simulación computacional de los diversos recubrimientos nanotecnológicos para determinar su resistencia a la corrosión en las estructuras, componentes y equipos de subestaciones de la red de distribución eléctrico.
- ❖ Realizar un análisis comparativo de los recubrimientos nanotecnológicos que presenten propiedades y características anticorrosivas para elementos componentes de la red de distribución eléctrica.

Capítulo 1

Revisión sistemática de recubrimientos nanotecnológicos anticorrosivos

En el presente capítulo se dispone la información necesaria de las nanopartículas para prevenir la corrosión que se depositarán sobre superficies de elementos componentes de acero galvanizados que conforman la red de distribución eléctrica. En el mismo se realizó una revisión sistemática para conocer los recubrimientos nanotecnológicos en tendencia en la actualidad.

1.1. Corrosión

La corrosión es una reacción química de tipo REDOX entre el metal y el ambiente en el que está instalado, esto en función de un tiempo prolongado produciendo daños severos en la estructura que se evidencia con el tiempo en forma de grietas en el material metálico, dependiendo de los factores de temperatura, oxígeno, humedad y agentes químicos localizados en el aire. El acero galvanizado es más lento en corroerse debido a su aleación, por lo tanto, es utilizado con mayor frecuencia en la construcción de estructuras de la red de distribución eléctrica (Fig.1 se observa el cambio de tonalidad en la superficie de acero galvanizado de equipos de alumbrado público) sin embargo, el costo de emplear acero galvanizado es superior en comparación a los demás metales utilizados en la industria eléctrica. (Fernández, 1984)

En la Fig.1. se muestra los indicios de corrosión en los postes de acero galvanizado de alumbrado público de la empresa VELASELECTRIC CIA LTDA por exposición al medio ambiente.



Fig. 1. Corrosión en poste de iluminación de acero galvanizado.

Fuente: Autor

1.1.1. Factores que influyen en la corrosión

Existen factores que intervienen en el proceso de la corrosión de la superficie o donde se impregnarán materias extrañas provocando un cambio de tonalidad en la superficie. (Andrade & Feliu, 1991) La temperatura en el ambiente acelera el desgaste por corrosión de los materiales. Se establece que cada incremento en 10 °C aumenta el desgaste en los materiales por milésimas de pulgada. (Clau, 2020)

El diferencial de potencial es el valor del potencial estándar de oxidación que involucra directamente la parte anódica y catódica del metal. Es importante conocer los diferentes tipos de potenciales tales como: el potencial de equilibrio (que se origina cuando el metal da y recibe electrones), el potencial de circuito abierto (potencial de un electrodo medido tomando en cuenta un electrodo de referencia cuando no existe paso de corriente hacia el electrodo medido), el potencial de corrosión (cambio de corriente en la superficie del metal pasando de anódico a catódico), por otra parte el potencial de pasivación (forma una capa pasiva en donde los metales y aleaciones pierden reactividad química), seguidamente tenemos el potencial de rotura (origina con el desarrollo de la capa pasiva en el metal y puede llegar a provocar grietas y ángulos por efecto progresivo de la corrosión en el área del metal), el potencial de repasivación (capacidad del potencial a regenerarse) y el potencial mixto (origina en el punto de intersección entre la sección anódica del metal más noble con la sección catódica del metal más noble). En la TABLA 1.1. se muestran los factores que intervienen en el proceso de la corrosión. (González, 1984)

TABLA 1.1 Factores que influyen en la corrosión

FACTOR	CAUSA	EFEECTO
Acidez de solución	Si el pH es menor a 7 (pH<7) la solución es acida.	Existe una concentración relativamente alta de iones de hidrógeno libres de solución.
Sales disueltas	Acelera el proceso de la corrosión a causa de la acidez.	La solución disminuye el PH al diluirse en solución electrolítica.
Contenido de cromo	Alto contenido de cromo ayuda a la pasivación	Desvía la curva anódica a corriente muy bajas.
Temperatura	La baja temperatura ayuda a la pasivación.	La baja temperatura desvía ambas curvas de polarización a corrientes bajas.
Iones de Cloruro	Son iones despasivantes que impiden la pasivación.	Desvían las curvas de polarización anódica a corrientes muy altas.
Oxígeno	Ayuda a la pasivación.	Despolariza la curva catódica.

Fuente: (Salazar, 2015)

Los factores generales que influyen en el proceso de corrosión de materiales metálicos son los agentes que se localizan en el ambiente y debido a su porcentaje de concentración crean capas inertes en el material metálico.

1.1.2. Clasificación de la corrosión

El fenómeno de la corrosión puede originarse de diferentes formas, por tal razón se debe tener en cuenta el entorno donde los elementos componentes están instalados, a partir de estos parámetros la corrosión puede clasificarse según el medio, según la forma de ataque, según su mecanismo y por clasificación de agentes combinados.

Según el medio

❖ Corrosión química

Se origina mediante un ataque electroquímico en el material al estar instalados en la intemperie, la exposición es directa entre la superficie del material en contacto con un líquido o gas acústico. (Clau, 2020)

❖ Corrosión electroquímica

Es la reacción directa de la superficie del metal con el medio ambiente en el que se encuentra instalado el material, la celda que origina la corrosión se compone por: ánodo, cátodo y electrolito, el ánodo es donde el metal es corroído, el electrolito es el medio de conducción iónica y el cátodo es la superficie de contacto del metal o (superficie de otro metal). (Mercedes, 2018)

Según la forma de ataque

Esta corrosión se origina de forma homogénea en toda la superficie del metal de una estructura que estuvo instalada a la intemperie, por lo que no admiten protección catódica, por lo cual se corroe en todo el perfil del metal. (Vazquez, 2018)

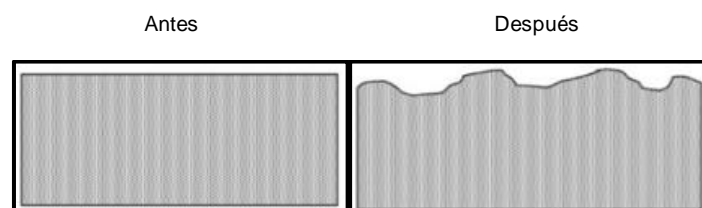


Fig. 2. Corrosión uniforme en un metal.
Fuente: (Vazquez, 2018)

En el caso de la Fig.2. la corrosión es distribuida por todo el perfil del área de contacto de la superficie con el medio corrosivo.

❖ Corrosión localizada

La corrosión localizada es difícil de detectarle, puesto que puede aparecer en zonas del metal que no son visibles y no pueden ser prevenidas al tener dimensiones internas o estar instaladas a alturas extensas. (Mercedes, 2018)

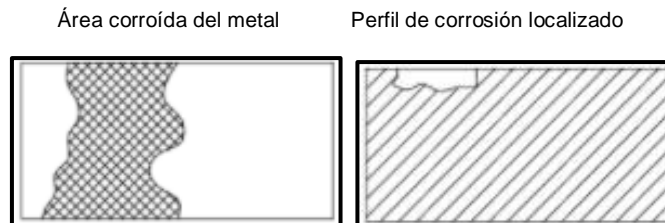


Fig. 3. Corrosión localizada en un metal.
Fuente: (Mercedes, 2018)

La Fig.3. presenta un detalle en la superficie que pudo ser ocasionado por defecto, deformación, defecto o daño ante un esfuerzo mecánico que con el tiempo tiende a corroerse.

❖ Corrosión Intergranular

En la superficie del metal se forman celdas en forma de grano en materiales de aleaciones, debido a que el material se somete a tratamientos inadecuados resultado que los límites del grano sean más reactivos en el centro del metal. (Gómez & Alcaraz, 2004)

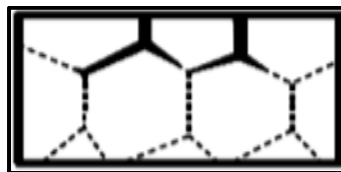


Fig. 4. Corrosión intergranular en el acero inoxidable.
Fuente: (Angel, 2021)

En la Fig.4. se observa la pérdida de resistencia de aleación con potencial a desintegrar los límites del grano originados en la superficie del metal, generalmente puede ocurrir en materiales como cobre, aluminio y aceros inoxidables.

❖ Corrosión por picado

picadura es un tipo de ataque corrosivo que comienza en los límites de la superficie del acero y es corroído desde el interior en forma perpendicular formando pequeños huecos y

túneles microscópicos en el material que a la larga provocará fallas de funcionamiento y exigirá un cambio de material. (Callister, 1996)

Área corroída del metal Perfil de corrosión por picadura

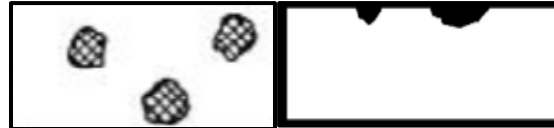


Fig. 5. Corrosión por picado.
Fuente: (Martinez , 2015)

En la Fig.5. se observa una superficie de acero que es corroída en diferentes puntos del material formando grietas con alto potencial de incrementarse y desintegrar físicamente la pieza o componente.

Según su mecanismo

❖ Corrosión galvánica o bimetálica

La corrosión de tipo galvánica involucra factores corrosivos como son los ácidos, sales y bacterias lo que permite formar una celda electroquímica en la unión de dos metales de diferente naturaleza. (Callister, 1996)

Área corroída del metal Perfil de corrosión galvánica

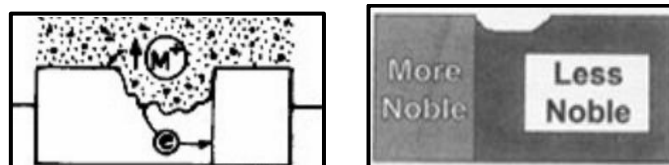


Fig. 6. Corrosión galvánica entre dos metales de distinta naturaleza.
Fuente: (Agridina , 2015)

En la Fig.6. tenemos una aleación (cobre-acero) en donde el metal con menos propiedades que es el acero tiende a corroerse rápidamente.

❖ Corrosión bacteriana

Esta corrosión es provocada por las bacterias localizadas en el suelo y puede afectar tanto a los metales como a materiales no metálicos, es por ello que las bacterias predicen o no la presencia del oxígeno y pueden ser de dos tipos: aerobia o anaerobia, la corrosión anaerobia es más peligrosa ya que ataca a estructuras enterradas en el suelo, las bacterias reductoras de sulfato emplean hidrógeno catódico para formar ácido sulfhídrico y este reacciona con el hierro para la obtención de sulfuro ferroso. (Andrade & Feliu, 1991).

❖ Corrosión por aireación diferencial

Se origina cuando la superficie metálica presenta resquicios que pueden ser: grietas o ranuras que aparecen al contacto de dos metales y este lugar presenta poca concentración de oxígeno. (González, 1984)

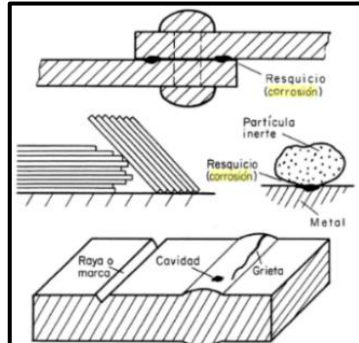


Fig. 7. Corrosión por aireación diferencial.
Fuente: (González, 1984)

En la Fig. 7. se observa el roce entre partes metálicas lo que provoca ranuras en la superficie del metal que por medio de la entrada de oxígeno da origen al proceso corrosivo.

❖ Corrosión selectiva

La corrosión selectiva produce la desintegración de un elemento o aleación sólida, en esto se debe al proceso de dezincificación de latón que consiste en separar el zinc del latón en soluciones acuosas, esta solución deja al cobre como masa porosa sin resistencia ante cualquier tipo de movimiento mecánico como se observa en la Fig. 8. (Universidad Politécnica de Valencia, 2016).

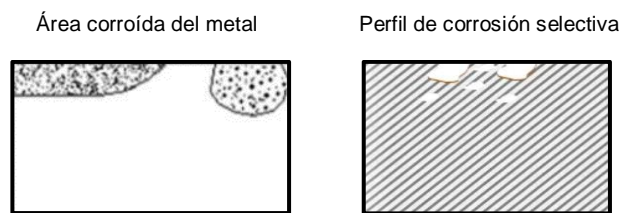


Fig. 8. Corrosión selectiva en el latón.
Fuente: (Agridina, 2015)

En la Fig. 8 se observa el latón corroído a raíz de la separación del zinc lo que provoca la presencia de poros en la superficie del metal con potencial de desintegración por partes y total ante esfuerzos físicos.

Clasificación por efectos combinados

❖ Corrosión fisurante

El metal está propenso a sufrir atracciones mecánicas y a la exposición al ataque corrosivo que puede ocasionar fisuras o grietas que pueden incrementar de tamaño en la superficie metálica si la tensión es inferior al límite elástico del metal. (Mercedes, 2018)

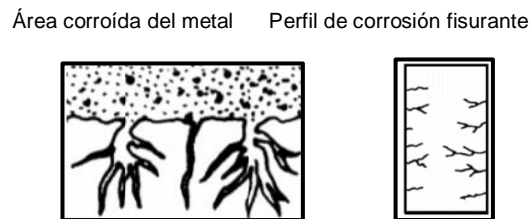


Fig. 9. Corrosión Fisurante en el metal.
Fuente: (Martínez, 2015)

En la Fig.9. se observa las fisuras que pueden ser intergranulares y transgranulares que en un tiempo puede llegar a producir una rotura y comenzar una desintegración del metal por completo.

❖ Corrosión por cavitación

Se origina cuando un metal registra una presión interior menor con respecto a la presión exterior, en la Fig.10. se observa que a partir de dicha presión aparecen burbujas de vapor en la superficie del metal y se reducen las partículas propias del metal lo que ocasiona agrietamientos en la superficie del metal. (Gómez & Alcaraz, 2004)

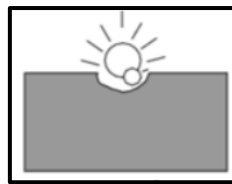


Fig. 10. Corrosión por cavitación.
Autor: (Vasquez, 2014)

La corrosión por cavitación es el resultado de cambios bruscos de la presión y suele aparecer en las bombas y tuberías donde transportan un fluido a presión.

❖ Corrosión atmosférica

Es un proceso electroquímico que produce un ataque corrosivo en un metal por factores atmosféricos, químicos, materiales corrosivos, pilas electrolíticas corrosivas, además pueden ser de origen meteorológicos o químicos. El electrolito se forma a través de la humedad en la superficie del metal y la velocidad de la corrosión depende del tiempo que permanece

humectado ó TDH el metal, comienza el proceso de corrosión en base al proceso anódico y catódico. Anódico cuando el metal se disuelve en la superficie del electrolito produciendo un compuesto poco soluble, y catódico cuando se deposita por debajo de la capa de humedad. (González, 1984)

1.1.3. Efectos de la corrosión sobre componentes metálicos

La corrosión es considerada un fenómeno presente en todo el mundo y afecta a todo lo que se diseña y se fabrica el hombre, esta afectación se origina en lugares que presentan humedad, contaminación del aire, gran concentración de salinidad y radiación solar. (Salazar, 2015)

La corrosión en los metales se produce cuando el metal entra en contacto con una reacción química, teniendo en cuenta los parámetros ambientales que pueden acelerar el desgaste al metal como es la temperatura, ácidos y sales, además influye considerablemente el lugar de instalación porque las infraestructuras de acero, hierro y artefactos de aluminio instalados en zonas industrializadas tienden a degradarse su composición rápidamente debido al dióxido de azufre que emite las industrias. (Salazar, 2015)

En la TABLA 1.2 se observa los metales con mayor potencial de desgaste detallando el efecto que produce los diferentes tipos de corrosión en las aplicaciones de cada metal, lo que nos permite observar el grado de afectación en diferentes aplicaciones que pueden ser: torres eléctricas, partes de vehículos, equipos de industria, joyería, maquinaria entre otras.

TABLA 1.2 Efectos de la corrosión sobre componentes metálicos

Metal	Efecto	Tipo de corrosión originada
Aluminio y aleaciones (aeronaves y disco duro)	Agrietamiento en una aleación forjada de aluminio en los trenes de aterrizajes, especialmente en los engranajes, amortiguadores de las sillas, compartimentos de cohetes y en uniones entre los pernos provocando fisuras entre uniones y desacoplamiento de las partes de la aeronave. Pueden producir cortocircuitos en la placa del computador y el daño de lectura y escritura en el disco duro.	Corrosión de superficie Corrosión crevice Corrosión filiforme Corrosión intergranular Corrosión galvánica
Hierro	Daños mecánicos en las partes giratorias y magnéticas de la máquina, daños de tornillería y	Corrosión por picadura

(Maquinaria)	presentan problemas de operación con potencial altamente peligroso para la integridad humana y pérdidas económicas por cambio de piezas.	Corrosión localizada
Plata (Monedas- Joyería)	Cambio de tono en la moneda y joyas de plata a un color amarillento en un lapso tiende a sulfatarse ocasionando pérdidas económicas.	Corrosión localizada Corrosión por picadura
Acero (Estructuras- Piezas- maquinaria)	Fisuras en estructuras de concreto y reduce la resistencia mecánica del concreto ocasionando deterioro de puentes, desplome de columnas, falla en el transporte de energía por torres eléctricas y el desgaste en piezas de maquinarias que conlleva al reemplazo de la pieza y paro del trabajo.	Corrosión fisurante Corrosión galvánica Corrosión localizada Corrosión galvánica
Níquel-Cadmio (Baterías).	Se invierten los electrodos durante la carga afectando al ánodo del metal cadmio y al cátodo en el metal níquel, esto se origina durante la descarga de la batería Ni-Cd.	Corrosión por picadura
Acero inoxidable (Productos de industria química y petrolera)	Cambio de tonalidad en el material de acero inoxidable disminuyendo la vida útil de los equipos y produciendo contaminación ambiental, paros intempestivos y afectaciones saludables al ser humano.	Corrosión localizada Corrosión por picadura

Fuente: Propia

Según la ISO 12944 la corrosión atmosférica se divide en 6 categorías de acuerdo con el grado de ataque corrosivo y el medio donde están instaladas las estructuras metálicas, las mismas que exigen un recubrimiento a su superficie metálica para no degradarse en tiempos cortos como se observa en la TABLA 1.3.

TABLA 1.3 Categoría de la corrosividad atmosférica según la norma ISO 12944

Categoría de la Corrosividad	Agresividad
C1	Muy baja
C2	Baja
C3	Media
C4	Alta
C5-I	Muy alta(industrial)
C5-M	Muy alta(marina)

Fuente: (AENOR, 1999)

En la TABLA 1.3 se describe las categorías de la corrosividad de acuerdo con su agresividad que va desde C1 que es muy baja hasta C5-M que es la categoría más alta asignada a la corrosión de origen marino según la norma ISO 12944 publicada por AERNOR en Madrid. (AENOR, 1999) La categoría de la corrosión es medible a partir del primer año de exposición como se detalla en la TABLA 1.4.

TABLA 1,4 Categoría de la corrosión a partir del primer año de exposición

CATEGORÍAS	UNIDADES	ACERO AL CARBONO	ZINC	COBRE	ALUMINIO
C1	g/m ² . año)	≤10	≤7	≤0,9	Despreciable
	um/año	≤1,3	≤0,1	≤0,1	-
C2	g/m ² . año)	10-200	0,7-5	0,9-5	≤0,6
	um/año	1.3-25	0,1-0,7	0,1-0,6	-
C3	g/m ² . año)	200-400	5-15	5-12	0,6-2
	um/año	25-50	0,7-2,1	0,6-2,3	-
C4	g/m ² . año)	400-650	15-30	12-25	2-5
	um/año	50-80	2,1-4,2	1,3-2,8	-
C5	g/m ² . año)	650-1500	30-60	25-50	5-10
	um/año	80-200	4,2-8,4	2,8-5,6	-

Fuente: (Cazco, 2002)

En la TABLA 1.4 se observa la categoría de corrosividad atmosférica en los metales como es el carbono, zinc, acero, aluminio y cobre a partir del primer año de exposición de metal, es decir al año de ser instalados y entre en contacto con la agresividad atmosférica (industrial y marina). (AENOR, 1999)

TABLA 1,5 Categorización de la atmosfera de acuerdo con los factores de tiempo de humectación.

	TDH(h/año) T	SO₂ (mg SO₂/m² día)	Cl (mg Cl/ m² día)
1	<10	≤10	≤3
2	10-250	10-35	3-60
3	250-2500	35-80	600-300
4	2550-5500	80-200	300-1500
5	>5500	-	-

Fuente: (Cazco, 2002)

En la TABLA 1.5 se detalla la categorización corrosiva en la atmosfera según el factor de tiempo de humectación al año de concentraciones de azufre y cloruros según la norma ISO 9223. (AENOR, 1999)

1.1.4. Efectos de la corrosión en los elementos componentes de red de distribución eléctrica.

En el anexo 1 se puede observar los diferentes herrajes, componentes, estructuras equipos que conforman la red de distribución eléctrica. Los herrajes que se empleen para construcción de una red de distribución deben de ser aprobados por la norma INEN 2215 y 2224, ASTM A 36, ASTM A 572, ASTM A7 - 55T, donde detalla que deben ser fabricados por inmersión en caliente. según la norma NTC 2076 (galvanizado por inmersión en caliente para herrajes y perfiles estructurales de hierro y acero). (NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCIÓN, 2013)

Los efectos que provocan el desgaste en partes metálicas de elementos componentes de la red de distribución eléctrica han provocado grandes inversiones económicas en diferentes países industrializados, esto se deben a las siguientes actividades realizadas:

- ❖ Reemplazo de elemento o componente corroído.
- ❖ Mantenimiento preventivo basado en recubrimientos nanotecnológicos.
- ❖ Paro en la producción de la industria debido a fallas por corrosión.
- ❖ Perdida de eficiencia en los elementos y componentes de la red de distribución eléctrica, la mayor concentración de este fenómeno se da en las estructuras de soporte y transporte de energía.
- ❖ Daños en equipos adyacentes por fenómeno de corrosión. (ULPGC, 2019)
- ❖ Perdida de funcionabilidad de los herrajes lo que provoca la suspensión de los elementos componentes que están montados en el poste lo que puede ocasionar daños al liniero cuando realice el mantenimiento.
- ❖ Suspensión del tendido eléctrico hacia la carretera por perdida de funcionalidad de

los aisladores de suspensión, grapas y conectores.

- ❖ Pérdida de operación de la lámpara de alumbrado público esto se debe a la corrosión electroquímica generada en la fotocélula.

TABLA 1,6 Efectos de la corrosión en la red de distribución eléctrica.

Elemento	Efecto	Tipo de Corrosión
Poste metálico	Pérdida de pintura galvanizada a exposición en la intemperie.	Corrosión localizada
Brazos para lámpara de alumbrado público	Pérdida de pintura galvanizada a exposición en la intemperie.	Corrosión localizada
Abrazaderas	Pérdida de pintura galvanizada por estar expuestos a temperaturas altas.	Corrosión fisurante
Pernos	Pérdida en el roscado y sujeción en los herrajes suspendidos en el poste.	Corrosión por aireación diferencial
Retenida	Pérdida de tensor de retenida.	Corrosión fisurante
Aisladores	Pérdida en la porcelana.	Corrosión por Cavitación
Fotocélula de lámpara de alumbrado público	Pérdida de conductividad.	Corrosión electroquímica
Crucetas	Pérdida de sujeción.	Corrosión localizada
Puesta a tierra	Formación de celda voltaica y daños en los componentes de la instalación con riesgo a la larga de daños en artefactos.	Corrosión electroquímica
Contactos de generador eléctrico y baterías	Desenergización del generador, no permite el paso de corriente hacia la bobina del generador. En las baterías se produce una inversión en los electrodos tanto en el ánodo y cátodo produciendo la descarga de la batería.	Corrosión por picadura

Fuente: Propia

En la TABLA 1.6 se muestra los elementos con más probabilidad de sufrir desgaste por corrosión (herrajes y contactos metálicos) en la red de distribución eléctrica, la causa que en este caso es el tipo de corrosión que se origina en el material y el efecto que provoca este fenómeno.

Efecto económico de la corrosión

En la red de distribución eléctrica se ha realizado estudios acerca del fenómeno de corrosión en los elementos componentes de la red eléctrica ya que se encuentran instalados a la intemperie siendo susceptibles al contacto de agentes químicos contaminantes, humedad y salinidad presentes en el aire, este problema ha cuantificado la inversión de millones de dólares en cada país industrializado, en la actualidad se ha desarrollado pinturas con moléculas químicas que contribuyen a la protección ante el desgaste por corrosión implementados en las estructuras de torres de transmisión, equipos y equipos de subestación.

Cuando los elementos componentes de la red de distribución eléctrica presentan múltiples fallas de operación y no se ha realizado cambios ni mantenimiento entre un rango de 30 años, estas fallas pueden corresponder a un ataque corrosivo sobre los equipos de la red, mediante una inspección se revisa el estado de los equipos conectados en el tramo que presenta fallas eléctricas, en caso de que exista elementos con el porcentaje mayor al 50% de superficie corroída se procede al reemplazo de los elementos componentes de la red de distribución eléctrica.

En la TABLA 1.7 se detalla los costos de forma resumida del cambio de una red de distribución eléctrica por daño corrosivos realizada por la empresa EMELNORTE, además se anexó al final las tablas de costo por el cambio de equipos y componentes de forma unitaria.

TABLA 1,7 Efecto económico de la corrosión en la red eléctrica

RESUMEN	
DESCRIPCIÓN	VALOR
Materiales	108.878,29
Mano de obra	200.424,97
Transporte postes vía terrestre	2.351,25
Transporte de material vía aérea	40.000,00
Fiscalización del contrato	35.165,45
SUBTOTAL	386.819,96
IVA 12%	46.418,40

TOTAL

433.238,36

Fuente: EMELNORTE

La corrosión ha contribuido el impacto económico en algunos países, en Estados Unidos entre el año 1998 tuvo un coste anual equivalente al 4.2% del Producto Interno Bruto, es decir a 20 billones de dólares americanos en. Reino Unido es un país industrializado y designa el 40% de la inversión al área de construcción y mantenimiento, esto equivale al 4% del Producto Interno Bruto del país. En México según estudios realizados las pérdidas por corrosión son de 38,1 billones de dólares según FMI. Japón, Gran Bretaña y Estados Unidos presentan pérdidas económicas por corrosión entre el 3 – 5% del Producto de Interno Bruto de los países industrializados lo que se establece como una consecuencia potencialmente costosa a nivel mundial. (Customair, 2019)

Las inversiones económicas realizadas en los diferentes países industrializados se deben a las siguientes actividades realizadas:

- ❖ Reemplazo de la pieza o elemento que se encuentra corroído.
- ❖ Mantenimiento preventivo basado en recubrimientos nanotecnológicos.
- ❖ Paro en la producción de la industria debido a fallas por corrosión.
- ❖ Pérdida de eficiencia en los elementos y componentes de la red de distribución eléctrica, la mayor concentración de este fenómeno se da en las estructuras de soporte y transporte de energía.
- ❖ Daños en equipos adyacentes por fenómeno de corrosión. (ULPGC, 2019)

1.2. Recubrimientos nanotecnológicos

Nanotecnología

Es la ciencia que se encarga del estudio y manipulación de la materia a escalas nano, es decir a escalas microscópicas entre un rango de 1 y 100 nanómetros, por tal razón trabaja con átomos y moléculas de metales a partir de nanopartículas que pueden ser de sol-gel y de nano cápsulas para crear una capa protectora en la superficie de los metales para combatir la corrosión. (Calle, 2021)

Técnicas de síntesis y fabricación nanotecnológica

❖ Técnica (Top-down)

Es una estrategia que consiste en el diseño a escala reducida las estructuras para obtener un sistema de funcionamiento a escala nano en componentes electrónicos, es una estructura

que comprende en reducir mediante el estudio de la materia obteniendo materiales a pequeña escala para obtener componentes electrónicos de forma reducida, este estudio se lo puede visualizar con la ayuda de un microscopio. Esta estrategia se deriva en la transformación de un material a través de un proceso hasta la obtención de un componente, aditivo que mejore las propiedades en un material o componente con la finalidad de mejorar la resistencia y funcionabilidad. (FRRQ, 2010)

❖ **Técnica (Bottom-up)**

Esta estrategia comprende el diseño a partir de estructuras atómicas de los materiales para la construcción de partículas a escalas significativas, produciendo películas delgadas, materiales estructurados. Por ejemplo, el diseño de películas delgadas para recubrimientos con la función de otorgar resistencia al desgaste por corrosión en elementos componentes de la red de distribución eléctrica, estos recubrimientos han revolucionado la industria eléctrica ya que se minimiza el gasto por inversión en estructuras, herrajes y transformadores etc. En fin, esta técnica sintetiza partículas nanométricas de un compuesto. (FRRQ, 2010)

1.2.1. Tipos de recubrimientos nanotecnológicos

Los recubrimientos nanotecnológicos tienen una película delgada diseñada a partir de estructuras moleculares con la función de recubrir y proteger las diferentes superficies metálicas, en especial del acero galvanizado de los elementos y componentes que conforman la red de distribución eléctrica ante el fenómeno corrosivo. (Calle, 2021).

Existen diferentes tipos de recubrimientos que pueden ser usados para minimizar el fenómeno de la corrosión sobre la superficie de los metales, además son aquellos que sus componentes tienen alguna de sus dimensiones espaciales menor a los 100nm son considerados recubrimientos nanotecnológicos. En la TABLA 1.8 se presentan algunos tipos de recubrimientos para la protección de estructuras metálicas de la red de distribución eléctrica.

TABLA 1,8 Tipos de recubrimientos nanotecnológicos

Nanopartículas	Tipo de recubrimiento	Descripción
Dióxido de Silicio (SiO ₂)	Recubrimientos inorgánicos	Soporta altas temperaturas de calor se puede obtener bajo el método de sol-gel, es semejante a una forma amorfa y su baja conductividad eléctrica otorga a la superficie del metal propiedades mejoradas si se instala a la

		intemperie del medio corrosivo. (Rodriguez T. , 2004)
Dióxido de Titanio (TiO ₂)	Recubrimientos inorgánicos	Se emplea en las resinas epoxi reforzada con partículas de TiO ₂ otorga alta resistencia en la superficie del metal, y amplía la funcionabilidad ante el ataque corrosivo en los componentes de la red de distribución eléctrica. (Gutierrez, 2016)
Oxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	Recubrimientos inorgánicos	Las nanopartículas son estables y de baja conductividad eléctrica, se emplean como recubrimiento por su dureza y resistencia a altas temperaturas minimiza la corrosión en elementos de acero galvanizado. (Gutierrez, 2016)
Cromato de Zinc (ZnCrO ₄)	Recubrimientos inorgánicos	Este recubrimiento es idóneo utilizarlo en lugares de la alta presencia de salinidad con un grado de protección de 7,7 y 8,2 veces superior que la protección de acero galvanizado. (Guilcaso, 2021)
Recubrimientos compuestos de níquel/carburo de silicio (Ni-SiC)	Recubrimientos inorgánicos	Este recubrimiento se lo obtiene a partir de un baño de watts que consiste en depositar partículas de Ni brillantes y semi brillante, se utiliza agua desionizada y la siguiente estructura p/p: 30% de NiSO ₄ .6H ₂ O (Carlo Erba), 4% de NiCl ₂ .6H ₂ O (Merck), 3% de H ₃ BO ₃ (Carlo Erba) ajustándole el PH para el baño a un valor de 4,6, las partículas deberán tener un espesor de 25 nm y el proceso de fabricación es de polarización catódica. (Guzmán et al., 2009)
Acrílicos	Recubrimientos orgánicos	Presentan alta resistencia a temperaturas solares reduciendo un 5% por año de exposición. (Gutierrez, 2016)
Polimetilmetacrilato (PMA)	Recubrimientos orgánicos	Es un polímero transparente con alto valor de transmitancia, presenta elevada resistencia a la intemperie y a los rayos ultravioleta, buena dureza al impacto. Este tipo de recubrimiento es sensible cuando se origina concentraciones de humedad

Resina Epoxi	Recubrimientos orgánicos	desgastando los bordes del elemento. (Gutierrez, 2016) Estos recubrimientos se depositan de forma directa en la superficie del metal, entre ellos tenemos de tipo porcelana, vidrio, cerámicos, esmalte, silicatos, boratos, carbonatos, nitratos, óxidos y recubrimientos vítreos. Existen diferentes métodos para obtener este recubrimiento tales como: anodización, cromado y fosfatación. (Rubio , 2018)
Recubrimiento por pintura de Zinc	Híbridos	Es un proceso que consiste en la protección de los elementos de acero galvanizado aplicando una capa de pintura de zinc en base a zinc metálico de alta pureza es conocido como una protección catódica, para su uso se recomienda limpiar el área que sufrió corrosión y aplicar el recubrimiento rico en zinc. (Tamez, 2016)
Recubrimiento 55% Al-Zn	Híbridos	El recubrimiento de Zinc presenta baja resistencia a altas temperaturas sobre el acero, entonces se combina el Zn y el Al como solución protectora sobre el acero, el proceso de obtención es a través de inmersión en caliente para obtener un recubrimiento con mayor espesor y resistente ante lugares con temperaturas severas, presencia de salinidad y alta contaminación. (Rico et al., 2019)
Poli- siloxano $[R_2SiO]_n$	Recubrimiento Orgánico-inorgánico	Son empleados en materiales que estén expuestos al desgaste por roce superficial de los metales con otra superficie, radiación solar y altas temperaturas, este recubrimiento soporta hasta una temperatura de 760 °C. (Vargas , 2021)
Silicato de Zinc $Zn_2(SiO_4)$	Recubrimiento inorgánico	Protege superficies de acero galvanizado a la intemperie, su protección catódica ayuda a evitar el desgaste por corrosión severa y soporta temperatura de 400°C. (Vargas , 2021)

En la TABLA 1.8 se detalla algunos tipos de recubrimientos en base a películas delgadas para la protección contra la corrosión con su descripción y especificaciones de uso de cada recubrimiento sobre estructuras y componentes metálicas de la red de distribución eléctrica.

1.2.2. Aplicaciones de los Nano-recubrimientos eléctricos

Actualmente la nanotecnología ha demostrado un sinnúmero de usos, entre ellos tenemos la aplicación de nano-recubrimientos para la protección de superficies en metales, en la ingeniería eléctrica las nanopartículas son empleadas ampliamente en el campo de energías renovables, puesto que se encargan de dar una mejora al sistema de producción y almacenamiento de energía, esto se realiza protegiendo la infraestructura de cada tipo de energía renovable (módulos de celdas fotovoltaicas, estructura de generador eólico y aerogenerador marino), debido a que se encuentran instalados a intemperie y sometidas a las condiciones extremas medioambientales como es la radiación solar y la presencia de salinidad provocaran el desgaste de la infraestructura, además pueden también emplearse en la electrónica dotando de mayor protección y resistencia térmica a los componentes electrónicos, algunas aplicaciones adicionales se detallan en la TABLA 1.9 (Gómez E. , 2018)

TABLA 1.9 Aplicaciones de los recubrimientos nanotecnológicos en la parte eléctrica.

Nanopartículas	Aplicación	Descripción
TiO ₂	Celdas fotovoltaicas	Celdas solares sensibilizadas por colorante.
Zn-Ti	Estructuras eléctricas	Recubrimientos en base a galvanizados por inmersión en caliente alargan la vida útil de 20 años a 30 años.
Carburo de Silicio (SiC)	Aerogenerador eólico marino	Al estar instalados ante la presencia del mar la estructura tiende a corroerse por la salinidad presente en el aire, para ello se ha desarrollado nano recubrimientos de tipo cerámico para que el material prolongue su vida útil.
Dióxido de Silicio (SiO ₂)	Herrajes	Mejora la resistencia en la superficie del metal mediante el método sol-gel el herraje adquiere mejores propiedades ante esfuerzos mecánicos.
TiO ₂	Baterías	Sobresalen las baterías de ion de litio, estas baterías pueden ser de tipo recargables, el recubrimiento compuesto de TiO ₂ mejora la funcionalidad de estos componentes en caso de que tienda a corroerse.

Oxido de Aluminio (Al_2O_3) Equipos de telecomunicaciones Proporcionan resistencia al material, se puede aplicar en la industria de telecomunicaciones, en especial en los herrajes de sujeción de la caja de red.

Fuente: (Gómez E. , 2018)

En la TABLA 1.9 se muestran las aplicaciones de las nanopartículas en el campo eléctrico para que estas partes cumplan con su función y mejoren su funcionamiento en condiciones agresivas.

1.3. Revisión sistemática

En esta etapa se utiliza varios indicadores bibliométricos para sintetizar de forma clara una investigación realizada en una base de datos bibliográfica.

1.3.1. Criterio de búsqueda

Para la revisión sistemática se utilizó el siguiente criterio de búsqueda ((nanotecnology OR nanocoating) AND corrosión) obteniendo 254 documentos, de los cuales la mayoría de los documentos se han publicado entre el año 2011-2019, los mismos que han ido en aumento hasta la actualidad.

En la Fig.11 se observa el análisis de resultado de un grupo de documentos que hacen referencia a la nanotecnología empleando recubrimientos para prevenir la corrosión, con la tendencia del año de publicación, resaltando el año 2018 con 32 artículos y en el 2001 surge la primera publicación de un documento referente a la temática, mediante este análisis se muestra una tendencia creciente de los recubrimientos en base a nanopartículas como solución corrosiva.

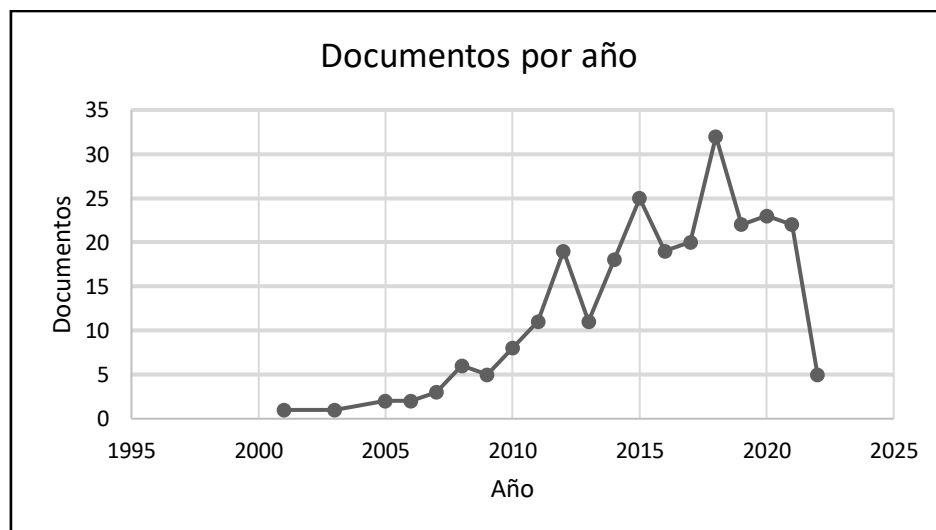


Fig. 11. Visualización del número de artículos según el criterio de búsqueda con respecto al año de publicación.
Fuente: Autor

Para la presente revisión sistemática se delimita la búsqueda según el rango de fecha, idioma, autor y tipo de documento.

En TABLA 1.10 se detalla los documentos que tienen más citas y que hacen referencia al empleo de recubrimientos en base a nano partículas para minimizar la corrosión en materiales metálicos en donde se detalla lo siguiente.

TABLA 1,10. Top diez de los documentos más citados ((nanotechnology or nanocoating) and corrosión).

N°	Autores	Título	Año	N° citaciones	Resumen
1	Hu, S., Shaner, M.R., Beardslee, J.A., (...), Brunshwig, B.S., Lewis, N.S.	Amorphous TiO2 coatings stabilize Si, GaAs, and GaP photoanodes for efficient water oxidation	2014	981	Los recubrimientos en base a películas de TiO2 minimizan la corrosión, pero en aplicaciones electrónicas pueden permitir el paso de conductividad. (Hu S.; Shaner M.R.; Beardslee J.A.; Lichterman M.; Brunshwig B.S.; Lewis N.S.,, 2014) Los nano recubrimientos super hidrofóbicos se pueden comparar en base a 3 materiales que son: <ul style="list-style-type: none"> • Inorgánicos • Orgánicos • Inorgánicos-Orgánicos Se presentan las propiedades de cada material, así como las técnicas de fabricación. (Si, Y., Guo, Z., 2015)
2	Si, Y., Guo, Z.	Superhydrophobic nanocoatings: From materials to fabrications and to applications	2015	251	
3	Topsakal, M., Aahin, H., Ciraci, S.	Graphene coatings: An efficient protection from oxidation	2012	163	El recubrimiento de Grafeno presenta propiedades anticorrosivas y presenta capas que no permiten el paso difuso del oxígeno con barreras altas de energía. (Topsakal, M., Aahin, H., Ciraci, S., 2012)

4	Zhang, Z., Ge, B., Men, X., Li, Y.	Mechanically durable, superhydrophobic coatings prepared by dual-layer method for anti-corrosion and self-cleaning	2016	120	Los materiales super hidrofóbicos presentan gran resistencia mecánica y corrosión aplicando el método de pulverización para obtener una superficie multifuncional. (Zhang, Z., Ge, B., Men, X., Li, Y., 2016)
5	Arukalam, I.O., Oguzie, E.E., Li, Y.	Fabrication of FDTS-modified PDMS-ZnO nanocomposite hydrophobic coating with anti-fouling capability for corrosion protection of Q235 steel	2016	76	El material poli(dimetilsiloxano)-ZnO (PDMS-ZnO basado en FDTS) a base de perfluorodeciltriclorosilano presenta capacidades anticorrosivas y su obtención se lo realiza en un solo paso. (Arukalam, I.O., Oguzie, E.E., Li, Y., 2016)
6	Karpagavalli, R., Zhou, A., Chellamuthu, P., Nguyen, K.	Corrosion behavior and biocompatibility of nanostructured TiO ₂ film on Ti6Al4V	2007	73	La deposición de partículas de TiO ₂ sobre Ti6Al4V da como resultado la formación de partículas amorfas y cristalinas mejorando la resistencia ante la corrosión. (Karpagavalli, R., Zhou, A., Chellamuthu, P., Nguyen, K., 2009)
7	Ramalingam, S., Muralidharan, V.S., Subramania, A.	Electrodeposition and characterization of Cu-TiO ₂ nanocomposite coatings	2009	72	Los nanomateriales de Cu-TiO ₂ se obtuvieron por el método de electrodeposición sobre el sustrato de cobre para que adquiriera resistencia a la corrosión. (Ramalingam, S., Muralidharan, V.S., Subramania, A., 2009)
8	Dolatzadeh, F., Moradian, S., Jalili, M.M.	Influence of various surface treated silica nanoparticles on the electrochemical	2011	66	Las nanopartículas de SiO ₂ en recubrimientos de poliuretano formando grupos hidrófobos mejorando el

		properties of SiO ₂ /polyurethane nanocoatings			límite entre las fases del polímero. (Dolatzadeh, F., Moradian, S., Jalili, M.M., 2011)
9	Abdeen, D.H., El Hachach, M., Koc, M., Atieh, M.A.	A review on the corrosion behaviour of nanocoatings on metallic substrates	2019	46	La corrosión en los materiales metálicos, cerámicos y de nanocompuestos en la superficie de sustratos metálicos, los factores que afectan la corrosión y las condiciones de aplicación de recubrimientos. (Abdeen, D.H., El Hachach, M., Koc, M., Atieh, M.A., 2019)
10	Akbarzadeh, S., Ramezanzadeh, M., Ramezanzadeh, B., Bahlakeh, G.	A green assisted route for the fabrication of a high-efficiency self-healing anti-corrosion coating through graphene oxide nanoplateform reduction by Tamarindus indica extract	2020	43	Un recubrimiento anticorrosivo inteligente autorreparable a partir de nanopartículas de óxido de grafeno- extracto de Tamarindus indica - Zn ²⁺ (GON-Ti.E-Zn) para mejorar el la eficiencia anticorrosiva del recubrimiento. (Akbarzadeh, S., Ramezanzadeh, M., Ramezanzadeh, B., Bahlakeh, G., 2020)

Esta tabla es un indicador bibliométrico que nos permite observar la tendencia de cada publicación y otorgar datos que acrediten el impacto que tuvo la revista científica con la publicación, además se puede ver el posicionamiento del autor según el número de citas de cada publicación.

1.3.2. Análisis sistemático

Para realizar un análisis sistemático primeramente se debe tener los datos del criterio de búsqueda, luego se obtiene una lista de artículos científicos que hacen referencia a minimizar la corrosión en superficies metálicas.

En la Tabla 1.11 se presenta una revisión sistemática de los artículos que se relacionan al estudio de recubrimientos nanotecnológicos para minimizar la corrosión, con la finalidad de excluir los documentos duplicados o que no tienen relación con el tema.

TABLA 1,11 Análisis sistemático de los recubrimientos nanotecnológicos que minimizan la corrosión.

Tipo de Recubrimiento	Descripción
	Se utiliza en sistemas fotovoltaicos y estructuras de acero inoxidable ya que proporciona resistencia a la abrasión y a los rayos ultravioletas, se depositó nanopartículas de TiO ₂ por el método sol-gel y se comprobó la resistencia al desgaste en una solución salina.
Dióxido de Titanio (TiO₂)	Se depositan sobre el acero dulce y la uniformidad de la película en la superficie de acero dependerá del número de capas depositadas, las irregularidades y huecos formados en el recubrimiento TiO ₂ se lo controla limitando el número de capas adheridas. (Bin Achoi et al., 2011) Son aplicables en estructuras metálicas ya que no presentan toxicidad y son resistentes al desgaste, este recubrimiento es ideal para estructuras a la intemperie ya que soporta altos grados de radiación ultravioleta, además se eliminó la resina epoxi por medio de un gel polimérico. (Ghomi et al., 2020)
Dióxido de Titanio-Óxido de Grafeno (TiO₂/GO)	Se aplico en superficie de acero al carbono reduciendo el grado de la nanopartícula brindando propiedades anticorrosivas, se deposita en estructuras de acero instaladas en la superficie del mar. (Abdeen et al., 2019)
Níquel - Dióxido de Titanio (Ní-TiO₂)	Los recubrimientos de níquel se fortalecen con nanopartículas de TiO ₂ para obtener mayor dureza en la superficie recubierta, se puede depositar estas nanopartículas en estructuras metálicas de acero, al inyectar estas dos nanopartículas el espesor de la capa se incrementa y con el disminuye el potencial de corrosión y se reduce la velocidad de corrosión ya que no presenta poros ni grietas. (Shao et al., 2012)
Nano-recubrimiento híbrido de alcohol polivinílico y Titania TiO₂-PVA	Se obtuvo a partir del método dip coating, además se aplica en superficies de acero dulce sumergido en soluciones salinas, el peso del recubrimiento TPVA debe tener el 20% de

PU/nano-Al₂O₃-Al Superhidrofóbico	<p>peso para aumentar la dureza y reducir la corrosión. (Jaseela et al., 2020)</p> <p>Se aplicó en materiales metálicos ya que muestra un cambio positivo del potencial corrosión esto se debe a la resistencia de la superficie mejorando el enlace molecular del metal-recubrimiento. (Si & Guo, 2015)</p> <p>Se aplicó en una superficie radioactiva de Al(111) una lámina de grafeno entre su superficie y el ambiente obteniendo excelentes propiedades anticorrosivas en estructuras de aluminio que se encuentren instaladas en la intemperie. (Topsakal et al., 2012)</p> <p>Este recubrimiento es aplicado en superficies de acero inoxidable por el método capa por capa, mediante el estudio de las curvas de Tafel de espectroscopía se observa excelentes propiedades anticorrosivas. (Ye et al., 2020)</p>
Grafeno	<p>Se deposita en aleaciones de aluminio (6061-T6) bajo el método sol-gel, además protege la superficie ante corrosiones por picadura, el grafeno se lo incorporó a una matriz híbrida. Incorpora materiales inorgánicos para dotar de durabilidad ante arpaduras en la aleación de aluminio y los materiales orgánicos para mejorar la densidad de la capa del recubrimiento para evitarse grietas en la superficie de la aleación. (Maeztu J.D. et al., 2017)</p>
Recubrimiento Superhidrofóbico grafeno exfoliado electroquímicamente y PDMS	<p>Se depositaron nanopartículas de grafeno en la superficie de aleación de Al 6061 y se los sumergió en contenidos salinos, se obtuvo una mínima densidad de corriente demostrando excelente resistencia corrosiva. (Wang et al., 2017)</p>
Óxido de grafeno-extracto de Tamarindus indica-Zn²⁺ (GON-Ti.E-Zn)	<p>Se adhieren en superficies de acero dulce para obtener una barrera eficiente ante contaminantes, además se demostró su efectividad haciendo pruebas en contenidos salinos. (Akbarzadeh et al., 2020)</p>
Poli(dimetilsiloxano)-ZnO (PDMS-ZnO)	<p>Se aplica en una superficie de acero, este recubrimiento incrementa la fuerza de adhesión en el acero debido a la</p>

	<p>adición de FTDS que mejora la capacidad de unión con hidroxilo (AOH). (Arukalam et al., 2016)</p>
<p>Cobre-Dióxido de Titanio (Cu-TiO₂)</p>	<p>Es adherido sobre sustrato de cobre nanopartículas de dióxido de titanio mediante un baño cobreado empleando el método de electrodeposición sobre contenidos salinos. (Ramalingam et al., 2009)</p>
<p>Oxido de Silicio (SiO₂)</p>	<p>Se depositaron partículas de SiO₂ en un recubrimiento poliuretano para superficie de sustrato de acero, esto mediante una modificación empleando organosilano (SiMe₄, TMS), que fueron depositados correctamente en la matriz del SiO₂ obteniendo una reducción de la velocidad de corrosión en el acero. (Dolatzadeh et al., 2011)</p>
<p>Oxido de Aluminio (Al₂O₃)</p>	<p>Se deposita en superficies de acero al carbono por el método térmico ALD o mejorado con plasma, de esta forma el recubrimiento adquiere mejor adherencia y reduce la presencia de poros, las películas de Al₂O₃ tendrán un espesor de 10 nm. (Abdeen et al., 2019)</p>
<p>Oxido de cerio (CeO₂)</p>	<p>Se aplican en tuberías de vapor en centrales térmicas y eléctricas de acero ferrítico (9Cr-1Mo), puesto que soporta elevadas temperaturas hasta 650°C-500h, se reduce el espesor del recubrimiento en con el aire de vapor, además este recubrimiento presenta excelente resistencia mecánica y anticorrosiva. (Sundararajan et al., 2006)</p>
<p>Óxido de Tantalio (Ta₂O₅)</p>	<p>Se emplea en la microelectrónica, industrias químicas y en la biomedicina, se realizó una aleación entre Ti-6Al-4V y Ta₂O₅ en una solución salina en superficies de acero al carbono observando la resistencia corrosiva del recubrimiento en condiciones severas. (Abdeen et al., 2019)</p>
<p>Superhidrofóbico (Cu-Zn, inmersión en solución para el crecimiento in situ de CuO). Películas LB y SAM</p>	<p>Se aplico en superficie de acero de una tubería y mostro propiedades mejoradas de autolimpieza, corrosión y anti-crustantes reflejando excelente estabilidad mecánica y térmica en la tubería. (Li et al., 2016)</p> <p>Se hizo las pruebas en una superficie de cobre produciendo nanocapas a partir de ácidos alquilhidroxámicos aumentando el espesor de la película, para formar densas capas orgánicas que bloquean las superficies metálicas. (Telegdi et al., 2005)</p>

Zinc-Níquel (Zn-Ni)	Se emplea en la industria aeroespacial por ser resistente al desgaste corrosivo, la adhesión de partículas de Ni en el Zn refuerza la superficie del metal puro, además se probó la consistencia de la superficie aplicada nano-recubrimiento en contenidos salinos. (Abdeen et al., 2019)
Níquel-Tungsteno (Ni-W)	Presenta mejor solidez en comparación al metal puro. Su utilización es estructuras metálicas instaladas en ambientes ácidos en donde el Fósforo adquiere una estructura amorfa maximizando la resistencia al ataque de iones de cloruro. (Abdeen et al., 2019)
Níquel-Fósforo (Ni-P)	Es aplicado en superficies de materiales metálicos, se adhieren a la capa del recubrimiento nanopartículas de Al_2O_3 , ZrO_2 y Al_3Zr , además con cada nanopartícula el espesor de la capa del recubrimiento cambia. (Agarwala R. et al., 2006)
Níquel-Fósforo-Nanotubos de Carbono (Ni-P-CNT)	Las pruebas se realizaron sobre sustratos de acero API-5L X65 en contenidos salinos, se lo trato bajo un tratamiento térmico de $4008^{\circ}C$ a una hora donde el acero obtendrá mayor resistencia a la corrosión. (Zerebidaki & Allahkaram, 2012)
Nanopartículas de Al_2O_3 Ni – 9%P	Se incrustan nanopartículas de Al_2O_3 para mejorar las propiedades mecánicas en la matriz del Ni-P para que se eleve la firmeza del recubrimiento Ni-P, además para su obtención se empleó el método de codeposición, puede aplicarse sobre superficies de acero y es resistente a la corrosión. (Allahkaram et al., 2010)
Zirconia (ZrO_2)	Se aplica en superficies de metales como barrera térmica, presenta propiedades de alta resistencia al desgaste, larga vida útil y resistente a temperaturas elevadas, se puede depositar por el método de sol-gel para tener una superficie de barrera uniforme. (Abdeen et al., 2019)

Sulfato de Sodio (Na_2SO_4)	Es aplicado en la superficie de una hoja de acero, puesto que aumenta la solidez para adherirse ante soluciones salinas se comporta como una barrera que no permite la penetración de electrolitos en la estructura de la hoja de acero. (Abdeen et al., 2019)
Recubrimiento a partir de Nanotubos de carbono de pared múltiple. (MWCNT)	Se deposita en superficies metálicas expuestas a alta concentración de salinidad, el porcentaje de resistencia a la transferencia de carga es de 5% demostrando mayor resistencia al desgaste. (Abdeen et al., 2019) Es un tipo de recubrimiento híbrido en base a nanotubos de carbono que se pueden depositar en sustratos metálicos y forman una barrera uniforme y presentan mejores propiedades frente al fenómeno de la corrosión. (Kang et al., 2014)
Recubrimiento a partir del Cobre -Nanotubos de carbono Cu-MWCNT	Mediante un baño cobreado se aplica en recubrimientos de nanotubos de pared múltiple (MWCNT) en superficies metálicas, para mejorar las propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión en contenidos salinos. (Ramalingam, Balakrishnan, Shanmugasamy, & Subramania, 2017)
Nanotubos de carbono y alcohol polivinílico (CNTs/PVA)	Se lo obtiene por el método sol-gel para que la película depositada sea de 0.03 g, además se aplica en superficies de acero dulce, debido a su capa fina la densidad de corriente de corrosión es baja, por lo que presenta buen rendimiento de la barrera anticorrosiva. (Maryam et al., 2018)
Ferrita (Fe_3O_4)	Se aplica en superficies de metales y aleaciones, se forma una barrera impenetrable entre el recubrimiento-metal para que la interfase esté libre de huecos y no permita el paso de contaminantes hacia el metal. (Abdeen et al., 2019)
Recubrimiento a partir de nanopartículas de Níquel-Cobre-Fósforo (Ni-Cu-P)	Mediante el método de electrodeposición se aplicó en superficies lisas, previamente se coloca partículas de Cu sobre el sustrato luego se deposita las partículas de Ni para mejorar la densidad de la película y finalmente las partículas de fósforo, los recubrimientos tienen forma de coliflor las partículas presentan una buena adhesión entre ellas,

	excelente resistencia mecánica y resistencia corrosiva. (Yu et al., 2013)
Recubrimiento Epoxi-titania (DGE-TiO₂)	Es utilizado ampliamente en el campo industrial, se deposita en superficies de materiales metálico, el proceso se dio a partir del isopropoxido de titanio (TIP) que actúa como agente de condensación, demostrando propiedades físico-mecánicas mejoradas y anticorrosivas en ambientes salinos. (Ghosal & Ahmad, 2017)
Recubrimiento de Sol-gel en base a quitosano dopado con Hy/nano-TiO₂	Este nano recubrimiento se aplicó en superficies de aluminio empleando el método de monocapa ensambladas, es decir el quitosano se suministró en una matriz sol-gel para auto-ensamblarle en la superficie de aluminio mejorando la resistencia del aluminio en ambientes con gran concentración de agentes contaminantes. (J. B., 2017)
Recubrimiento de nanopartículas de Ni-TiN	El proceso consiste en depositar partículas de TiN en recubrimientos de Ni-TiN a una velocidad de 3ms para obtener una dimensión de 47.8 nm y 30.5 nm, se hizo pruebas de deposiciones de las partículas en tiempos de 1ms y 5ms obteniendo como resultado una barrera anticorrosiva en superficies metálicas. (Xia et al., 2017)
Recubrimiento de nanopartículas de SnO₂	Se suministro partículas de SnO ₂ en recubrimientos DCPA para aleaciones de magnesio para que el recubrimiento presente una capa de mayor espesor reflejando mayor resistencia ante la corrosión. (Cui et al., 2018)
Recubrimiento de nanopartículas de Ni-AlN	Se depositan sobre superficies de acero dulce por el método de electrodeposición de campo magnético, el recubrimiento tiene un espesor entre el rango de 42,7 nm – 84,2 nm que hacen que demuestren mayor solidez ante presencia de corrosión. (Xia et al., 2020)
Carburo de Silicio (SiC)	Se deposito capas amorfas de Carbono sobre un sustrato de Silicio y para medir la corrosión se realizó una prueba potenciodinámica en condiciones de irradiación y para obtener una buena relación entre las capas del recubrimiento se basa en la cantidad estequiométrica entre los átomos de carbono y silicio. (Racz & Menyhard, 2018)

Recubrimiento a partir de nanopartículas de Níquel-Cobalto-Carburo de Silicio Ni-Co-SiC

Estas nanopartículas se depositan a diferentes ciclos de trabajo y pulsos de frecuencia, notándose que a medida que cambia el ciclo de trabajo en tendencia creciente aumenta la rugosidad y con ello las imperfecciones en la superficie, las nanopartículas depositadas a un ciclo de trabajo del 20% -300 Hz en los que muestran la mayor resistencia a la corrosión. (Ma et al., 2020)

Ácidos sulfónicos (R-S(=O)₂-OH)

Se aplican en superficies de acero dulce sobre soluciones neutras, además contribuye a minimizar la corrosión en el acero y en aleaciones bajas de hierro, el proceso consiste en depositar dos ácidos fosfónicos para formar nanocapas hidrofóbicas y recubrir las superficies metálicas. (Abohalkuma & Telegdi, 2015)

Nanocompuesto PVA/ZnS-NCQDs

Se obtuvo el nanocompuesto a partir de un proceso de inmersión y se depositó en superficies de acero inoxidable en contacto con una solución salina, además brinda protección contra la corrosión y es amigable con el medio ambiente. (Binsabt et al., 2016)

Recubrimiento compuesto de PMMA-PSF-CNFs

El recubrimiento poli (metacrilato de metilo) Superhidrofóbico (PMMA)-polisulfona (PSF)-nano fibras de carbono (CNF), demuestra gran resistencia al calor y a la corrosión en aplicaciones industriales, puede aplicarse sobre superficies de acero y aluminio y se lo obtiene por el proceso de fundición por caída. (Wang et al., 2016)

Recubrimiento de nanopartículas ZnO

Se depositan estas nanopartículas en superficies de acero y se lo obtiene por el método de electrodeposición, además se realizó la prueba en 5% de soluciones salinas obteniendo mayor resistencia de la superficie ante la corrosión, (Kamburova et al., 2021)

Recubrimiento a partir de nanopartículas de Zinc-Níquel (Zn, Ni y WC)

Se depositan sobre superficies de acero y se los obtiene por método de electrodeposición donde involucran nanopartículas de Zn, Ni y WC, las nanopartículas de WC brinda al recubrimiento Zn-Ni mayor dureza y reducen la corrosión electroquímica en el acero por cambios en el medio ambiente. (Kumar et al., 2021)

Recubrimiento de sol-gel	Se puede aplicar sobre diversas superficies metálicas en especial se depositan en ambientes con alta presencia de contaminantes en el aire, estos recubrimientos no contaminan el medio ambiente y presentan alta resistencia a la corrosión. (Pathak & Khanna, 2012)
Recubrimientos de Zinc de grano grueso convencional	Este recubrimiento es ideal para aplicar en superficies de acero electro galvanizado, el grano depositado en el recubrimiento deberá ser fino y voluminoso. generalmente sus películas son pasivas es por ello por lo que mejora el rendimiento contra la corrosión. (Li et al., 2015)
Cobalto- Hierro (Co-Fe)	Consta de una estructura granular (es decir presenta formas laminares irregulares en su estructura), se lo puede obtener por el método de electrodeposición y a medida que se depositen las películas de Co-Fe se reducirá la velocidad de corrosión en materiales metálicos. (Abdullah et al., 2012) Se obtienen mediante el proceso de electrodeposición, además se puede aplicar en superficies metálicas instaladas a la intemperie puesto que presenta alta dureza, este recubrimiento presenta retraso en la formación de óxido blanco lo que contribuye a prolongar su vida útil mejorando las propiedades mecánicas y anticorrosivas. (Klekotka et al., 2020)
Recubrimientos de Zinc (Zn)	a la intemperie puesto que presenta alta dureza, este recubrimiento presenta retraso en la formación de óxido blanco lo que contribuye a prolongar su vida útil mejorando las propiedades mecánicas y anticorrosivas. (Klekotka et al., 2020)
Recubrimientos compuestos P/nano-TiC	Para su obtención se codepósito nanopartículas de Carburo de titanio (TiC) en la matriz de nanopartículas de Níquel-Fósforo (Ni-P) para mejorar las propiedades mecánicas y mostrar mayor grado de dureza ante la corrosión ya que el número de poros en materiales metálicos es mínimo. (Rabizadeh & Yeganeh, 2011)
Cobalto-Níquel-Hierro (Co-Ni-Fe)	Se deposita sobre superficies de acero dulce para minimizar la corrosión, además el tamaño de la nanopartícula depende del tiempo que se depositó ya que a mayor tiempo la nanopartícula incrementa su densidad y con ello su dureza. (Nik Masdek et al., 2019)

Para la realización del análisis sistemático se toma en cuenta las nanopartículas que tienen la función de proteger las superficies metálicas del fenómeno de la corrosión,

Capítulo 2

Diseño de simulación computacional de estructuras con recubrimiento nanoestructurados

En el presente capítulo se presenta el diseño de los elementos componentes galvanizados en SolidWorks, además se detalla los tipos de recubrimientos a depositar en las piezas y observar los resultados de la simulación de la gradiente de corrosión en dichos componentes basándose en el fluido dinámico computacional.

2.1. Introducción

El presente capítulo detalla tres tipos de recubrimientos nanotecnológicos que presentan propiedades de resistencia al desgaste como son: dióxido de titanio (TiO_2), óxido de grafeno y óxido de silicio, estas nanopartículas se depositarán sobre los herrajes galvanizados montados en la red de distribución de energía, para este fin se desarrolló dos tipos de simulaciones las cuales son: el diseño de tres herrajes galvanizados en el programa "SolidWorks", para luego depositar los nanorecubrimientos al componente galvanizado y simularlo en el programa de Ansys.

Los herrajes galvanizados seleccionados para las pruebas de resistencia a la corrosión son: una abrazadera con pletina de 4mm de tres pernos con rosca corrida de 12 mm, una cruceta de perfil L y un bastidor de 1 vía de 38 * 4 mm, inicialmente se diseña la pieza y se aplica el recubrimiento galvanizado en el software de SolidWorks, luego mediante un corte transversal se depositará las nanopartículas sobre las piezas y se procede a introducir los valores correspondientes para cada recubrimiento en el software Ansys.

Aplicando los parámetros mencionados en este capítulo se obtendrá los datos de simulaciones que serán los resultados para concluir el trabajo y responder a los objetivos planteados.

2.2. Descripción del campo de estudio

La red de distribución eléctrica es una parte del suministro de energía que opera desde la subestación hasta el consumidor final, la misma que debe entregar la energía de forma segura y de calidad evitando paros intempestivos de operación, por lo que se realizó el estudio de recubrimientos nanotecnológicos en base a nanopartículas para minimizar los efectos de la corrosión en los elementos componentes de la red de distribución eléctrica, puesto que son susceptibles al contacto de agentes químicos contaminantes, salinidad presente en el aire y condiciones ambientales severas. En la actualidad el acero galvanizado es la protección

superficial de torres eléctricas, herrajes y componentes de alumbrado, pero el presente estudio propone la aplicación de recubrimientos nanotecnológicos sobre el acero galvanizado para mejorar sus propiedades anticorrosivas y reducir los costos por mantenimiento o reemplazo de componentes en la red de distribución eléctrica ya que han significado cuantiosas pérdidas económicas para los países desarrollados. Esta investigación tiene un gran impacto en la industria eléctrica por lo que la técnica de deposición de partículas sobre el acero galvanizado puede ser bien recibida por EMELNORTE y demás empresas regionales de electricidad del país.

2.3. Diagrama de procesos

En la Fig.14 se detalla el proceso que se utilizó, las herramientas de simulación y los datos estadísticos de la base de datos Scopus para cumplir con el “Estudio de recubrimientos nanotecnológicos para minimizar la corrosión en elementos componentes de la red de distribución eléctrica”.

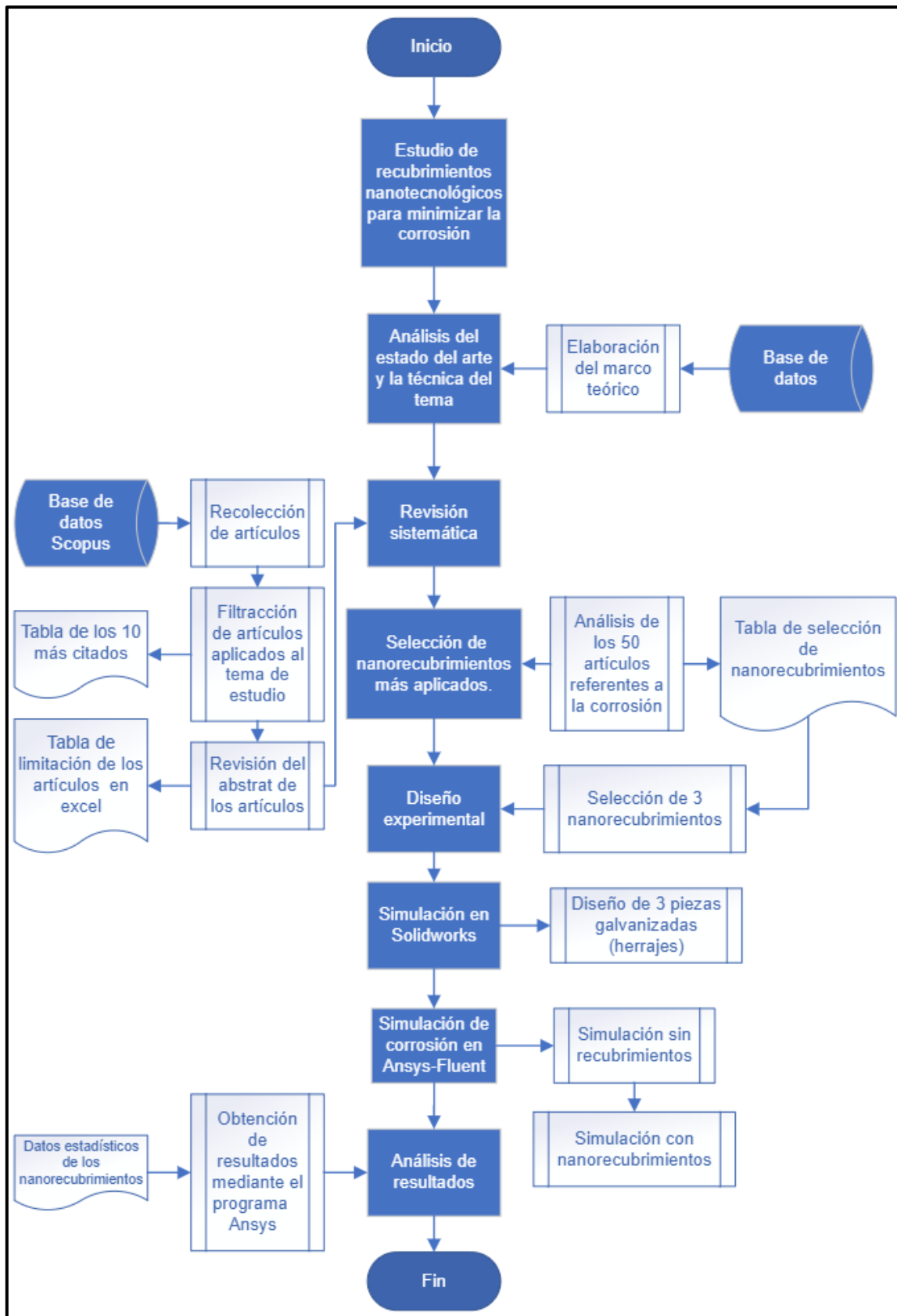


Fig. 14. Diagrama de bloques del estudio y selección de recubrimientos nanotecnológicos para minimizar la corrosión.
Fuente: Autor

2.4. Herramientas de estadística y simulación de ingeniería

Los programas son cadenas sucesivas de instrucciones que tienen por fin cumplir una función específica para la solución de un problema. Para el estudio de recubrimientos nanotecnológicos para prevenir la corrosión se empleó softwares con diferentes características que en acción de todos se obtendrá se dará una solución ante el problema de la corrosión en los elementos componentes galvanizados de la red de distribución eléctrica.

2.4.1. SolidWorks

Es un programa de diseño mecánico CAD 3D, que permite la elaboración de planos, ensamblajes y modelar piezas en 3D, al realizar un proyecto este software presenta la factibilidad de vincular las piezas con los ensamblajes y dibujos para obtener un diseño en común, además nos permite aplicar recubrimientos sobre elementos modelados descargado la carpeta de materiales para aplicar al diseño y que obtenga propiedades diferentes en comparación al material natural. (SOLIDBI, 2022)

2.4.2. Excel

Es una herramienta del paquete Office que nos permite realizar cálculos de operaciones matemáticas por medio de fórmulas, además este programa contribuye en la realización de análisis bibliométricos exportando información de bases de datos para luego ser trabajados y que se representen empleando gráficos estadísticos con la finalidad de mejorar la organización y visualización de los datos que se obtuvo de una investigación, la representación se la puede realizar en diferentes programas compatibles con Excel. (MEDIActive, 2010)

2.4.3. Vosviewer

Es un software libre que nos permite construir y visualizar redes bibliométricas en base a la información procedente de la base de datos electrónica "Scopus". Este software nos permite mostrar de forma gráfica el análisis de correlación de las fuentes primarias investigadas en la base de datos Scopus, es necesario ingresar a Recursos Electrónico de la biblioteca virtual de la Universidad Técnica de Norte e ingresar registrándose como estudiante. (Vosviewer, 2022)

2.4.4. Scopus

Es una base de datos que contiene resúmenes y referencias bibliográficas de artículos científicos, se puede realizar una búsqueda avanzada utilizando los conectores boléanos

seguido del tema o por afinidad de perfiles de autores e institución la misma que no permite la visualización por completo del documento, pero contiene un enlace para descargarlo.

Scopus tiene el objetivo de evaluar la producción científica a partir de criterios bibliométricos para obtener la calidad de investigación, las fuentes que puedes encontrar en Scopus son de artículos de revistas científicas, libros, actas de congreso, informes y patentes. (Elsevier B. V., 2022)

2.4.5. Ansys

Es una plataforma multifásica para el análisis y simulación de elementos finitos, es decir integra la parte dinámica de estudios computacionales, la sección mecánica de sólidos y el apartado de electromagnetismo con la finalidad de analizar piezas o conjunto de piezas que están expuestos a varios fenómenos físicos. Para el estudio de recubrimientos nanotecnológicos es necesario realizar un análisis estructural en las piezas modeladas para estimar las propiedades de la estructura. (ESSS, 2022)

2.5. Recubrimientos seleccionados

Para la selección de los nanorecubrimientos se tomó en cuenta que cumplan con sus propiedades fundamentales como son: el peso y tamaño nanométrico (la nanopartícula debe estar en el rango de 1 nm-100 nm) y la resistencia al desgaste por corrosión para que la funcionalidad de las nanopartículas tenga una mejor interacción con la superficie de acero galvanizado y el ambiente agresivo. Según el estudio realizado y las aplicaciones para combatir la corrosión en la actualidad se seleccionó las siguientes nanopartículas: dióxido de titanio, grafeno y Oxido de Silicio.

2.5.1. Nanopartículas de Dióxido de Titanio (TiO_2)

Presentan propiedades foto-catalíticas que facilitan la transformación de gases tóxicos en composiciones no contaminantes, es decir al entrar en contacto con los rayos UV y el oxígeno las nanopartículas de (TiO_2) reaccionan como catalizadores en donde los gases contaminantes se convierten en compuestos no tóxicos, por lo general su método de obtención es el sol-gel y del mismo dependerá el tamaño de las nanopartículas. (Martínez E. , Ramirez M., 2020)

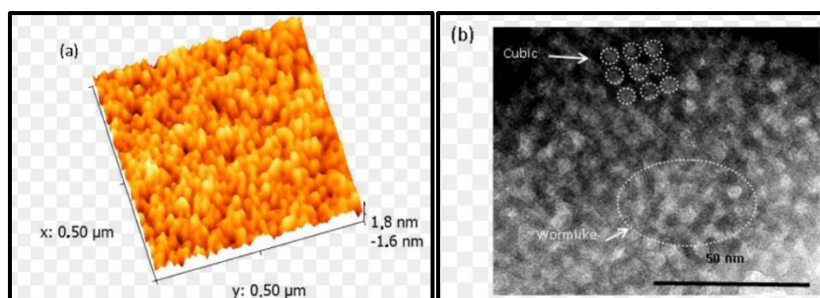


Fig. 15. Espectroscopía fotoelectrónica de rayos X de las nanopartículas de Dióxido de Titanio (TiO₂)
Fuente: (Ghazzal et al., 2014)

La Fig.15. se puede observar el entorno molecular de las nanopartículas de Dióxido de Titanio, por su forma cubica se asemeja a un gusano con un perfil de profundidad de 50 nm, el valor de sus variables tanto en x como en y es de 0,50 um con un grosor de de 1,8-1,6 nm.

TABLA 2,1. Propiedades de las nanopartículas de dióxido de titanio

Nanomaterial	Dióxido de Titanio (TiO ₂)
Densidad	4,23 g/cm ³
Masa molar	79,866 g/mol
Punto de fusión	1,843°C
Punto de ebullición	2,972°C
Fuerza a la tracción	340 MPa
Fuerza a la fricción	800-1000
Coefficiente de Poison	0,34
Capacidad calorífica	170 J/kg°K
Conductividad térmica	8,4 W/m°K

Fuente: (Ghazzal et al., 2014)

En la TABLA 2.1 se observa las propiedades físicas, químicas y mecánicas del TiO₂ las mismas que son medibles, describiendo la transformación del estado físico de las nanopartículas, para las propiedades mecánicas se debe tener en cuenta que las propiedades cambian con el tamaño, de tal manera que altera su estructura atómica obteniendo mayor resistencia en las nanopartículas.

2.5.2. Nanopartículas de grafeno (GO)

Es un material que se lo obtiene a partir del grafito, está conformado por átomos de carbono ordenados en forma de panal de abeja y su grosor es de 0,1 nm, presenta alta conductividad eléctrica y térmica, alta flexibilidad y dureza, es por eso que el grafeno se

considera como el material más resistente en la actualidad. Es utilizado en procesadores puesto que se aprovecha la energía que pierde en forma de calor para mejorar el rendimiento del procesador y evitar colapsos. (Rodríguez C., Vasilievna O., 2008)

En la Fig.16 se observa la forma de la estructura atómica y topografía de la superficie (SEM) del grafeno.

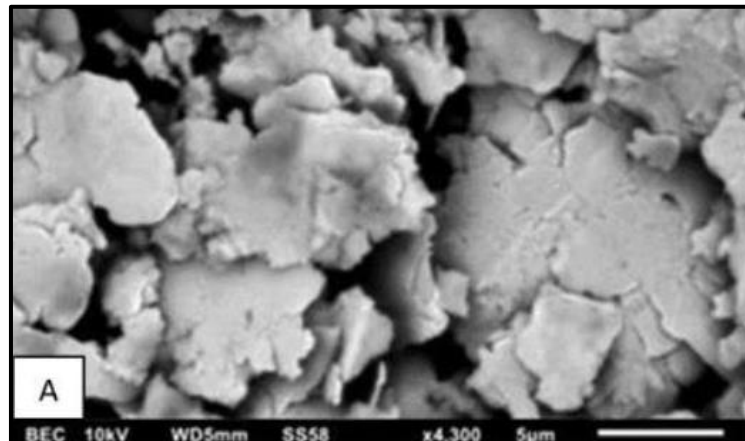


Fig.16. Estructura del Grafeno.
Fuente: (Peña et al., 2021)

La técnica SEM (microscopía electrónica de barrido) que consiste visualizar de forma clara las partículas pequeñas con carga negativa que se encuentra en los átomos del grafeno, por lo general el grafeno se presenta en forma hexagonal comprendiendo una sola capa de carbono creando una superficie uniforme. La Fig.16 muestra el tamaño de la nanopartícula en escala nanométrica con un valor de 5um y la cantidad de energía de los electrones en la muestra es de 10kV.

TABLA 2.2. Propiedades de las nanopartículas del grafeno

Nanomaterial	Grafeno (GO)
Espesor	3,35 Å (es decir, 3,35·10 ⁻¹⁰ m.).
Densidad	0,77 mg/m ²
Conductividad eléctrica	0,96·10 ⁸ (Ω·m) ⁻¹
Conductividad térmica	5.000 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹
Fuerza a la tracción	130 GPa
Fuerza a la fricción	170-310 Mpa
Módulo de Young €	1 Tpa
Resiliencia y Tenacidad:	205 N/m
Coefficiente de Poisson (ν):	0,165

Fuente: (Peña et al., 2021)

En la TABLA 2.2 se observan las propiedades de las nanopartículas de GO, estas propiedades se originaron mediante los enlaces covalentes donde mejoran su resistencia, para la obtención de estos datos a escala nanométrica se realiza mediciones empleando la punta nanométrica.

2.5.3. *Nanopartículas de óxido de silicio (SiO₂)*

Estos aisladores se utilizan en redes aéreas de media y baja tensión, aislando al conductor del neutro, su construcción está regida por la normativa ANSI C29.3., presenta un material cerámico o porcelana que soporta al conductor en incluso posee rieles donde va a acoplarse el conductor al aislador para mantenerlo separado de la línea positiva y evitar cortocircuitos por la presencia de vientos, terceras personas, aves que provoque un accidente imprevisto etc. (Zhengzhou, 2011)

Está compuesto por una molécula de silicio y dos de oxígeno es un componente de la arena y se lo puede encontrar en cuarzo en su estado natural, presenta alta resistencia mecánica, estabilidad química y biocompatibilidad, actúa como barrera anticorrosiva en superficies de materiales metálicos que presenten grietas y poros, en la actualidad se emplea como recubrimiento en superficies de aceros para reducir la rugosidad en el perfil del metal y aumentar el espesor de la superficie metálica. (Campos, 2014)

En la Fig.17 se puede observar la estructura microscópica de las nanopartículas de silicio.

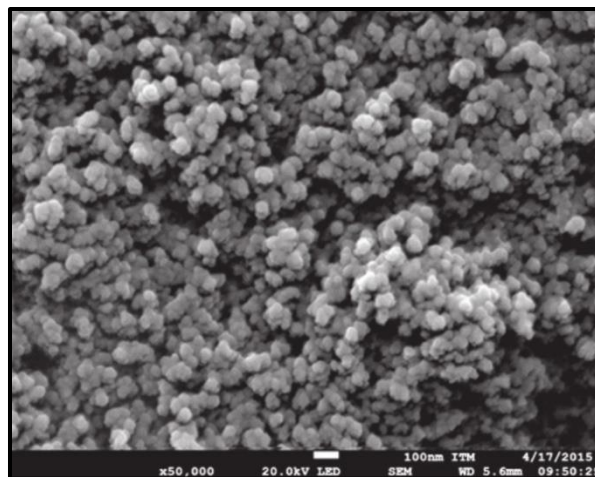


Fig. 17. Técnica SEM de medición de las nanopartículas de Silicio a temperatura ambiente.
Fuete: (Ruiz & Giraldo, 2016)

Para observar las nanopartículas de SiO₂ de forma clara en la medición SEM se realiza un aumento de *50,000 a 20 kV sobre la muestra, además refleja un tamaño equivalente a 100 nm bajo la técnica de medición “microscopía electrónica de barrido”, algunos datos de la nanopartícula de SiO₂ se observa en la TABLA 2.3.

TABLA 2.3. Propiedades de las nanopartículas de óxido de silicio

Nanomaterial	Oxido de Silicio
Densidad	2220[kg/m ³]
Capacidad calorífica	Nanómetro
Conductividad térmica	%
Punto de fusión	1713 °C
Punto de ebullición	2230 °C
Fuerza a la tracción	170 MPa
Fuerza a la fricción	319 kPa
Coefficiente de Poison	0,28
Módulo de Young	50 a 80GPa

Fuente: (Sinoenergy Group, 2020)

2.6. Diseño de componentes para simular en SolidWorks

El diseño es un proceso que busca la solución en la industria de la ingeniería, ante el problema de la corrosión en los elementos componentes de la red de distribución eléctrica y mediante una investigación se determinó que la corrosión afecta directamente a los herrajes que no tienen acabado de galvanizado provocando la desintegración del componente, por tal motivo se realiza un estudio sobre elementos componentes galvanizados empleados en la red de distribución eléctrica con la finalidad de aplicar películas delgadas de nanopartículas para mejorar la propiedad de resistencia al desgaste. Se seleccionó las tres piezas a diseñar y simular en el software SolidWorks como son: la abrazadera de 3 pernos, el bastidor rack de una vía y la cruceta de 2m, esto se realizará tomando en cuenta los parámetros de diseño descritas en las especificaciones técnicas de la Corporación Nacional de Electricidad CENEL.EP.

2.6.1. Abrazadera

Es un herraje empleado en la red de distribución eléctrica que se encarga de sujetar al bastidor Rack de una vía y el poste, sujeción entre el pie amigo y los polímeros tipo aislador de caucho siliconado y el poste, la abrazadera utilizada consta de una pletina de 4mm con pernos de rosca corrida de 12mm de acero galvanizado.

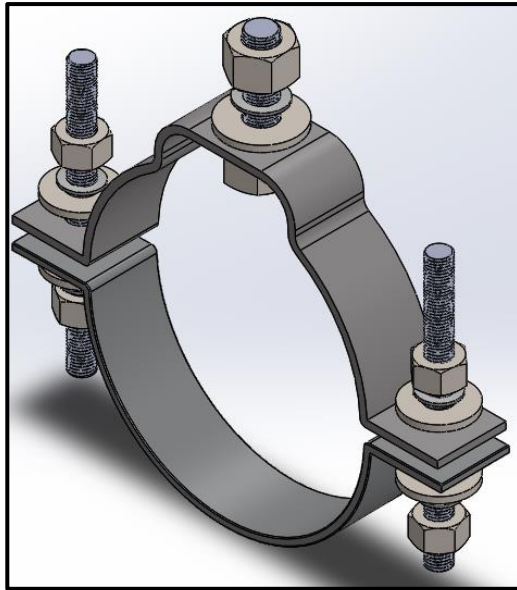


Fig. 18. Abrazadera pletina de 4mm con pernos de rosca corrida de 12mm de acero galvanizado
Fuente: Propia

Según CENEL.EP (2017) la abrazadera de pletina simple de 3 pernos contiene de un perno rosca corrida de 16 x 150 mm (5/8 x 6"), tuerca hexagonal de 16 mm (5/8"), arandela plana de 16 mm (5/8") y una arandela de presión de 16 mm (5/8"). El acabado de pieza de la Fig.18 es galvanizado por inmersión en caliente libre de irregularidades en la superficie y la norma del galvanizado es ASTM A123 - ASTM A153.

2.6.2. *Bastidor rack*

Se usa como soporte del hilo guarda o neutro empleado como retención para líneas de baja tensión, el bastidor empleado es de 1vía de 38 * 4 mm de acero galvanizado.

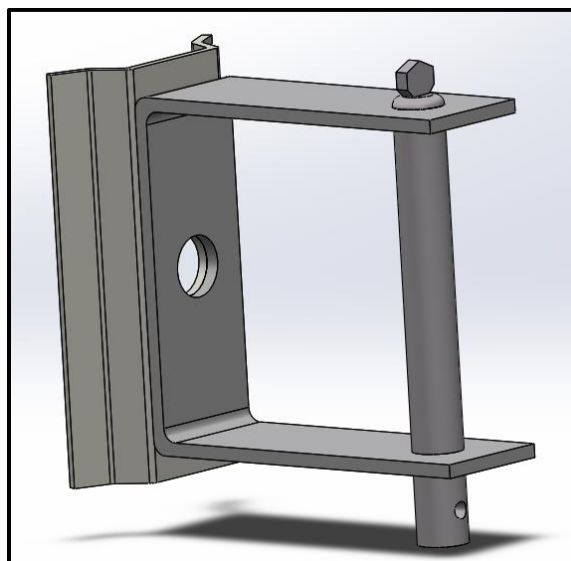


Fig. 19. Bastidor de 1vía de 38 * 4 mm de acero galvanizado
Fuente: Propia

Según CENEL.EP (2017) el bastidor rack de una vía tiene una longitud en la base de 120 mm y de la varilla de 140 mm, su elemento de seguridad es la horquilla y tiene acabado de galvanizado por inmersión en caliente bajo la norma INEN 2483 - ASTM A123.

2.6.3. *Cruceta*

Soporta los conductores y aisladores de una línea de la red de distribución aérea, las crucetas de 1 metro sirven para poner seccionamientos de arranque y montaje de transformadores, la cruceta de 2 metros es utilizada como soporte de conductores de líneas trifásicas, se utilizó la cruceta de perfil L 100*100*10mm longitud 2m de acero galvanizado como se observa en la Fig. 20.

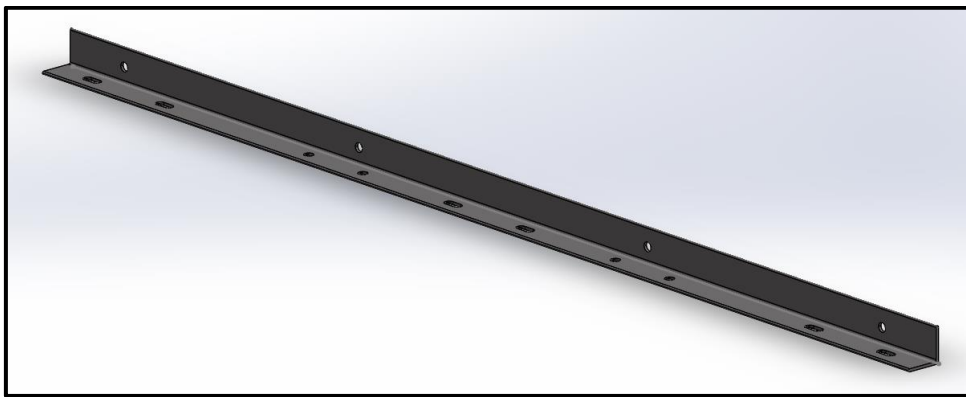


Fig. 20. Cruceta de perfil L 100*100*10mm longitud 2m de acero galvanizado
Fuente: Propia

Según CENEL.EP(2017) la cruceta diseñada es de un solo cuerpo con una longitud de 2m, su acabo es galvanizado por inmersión en caliente bajo la norma NTE: INEN 2483, ASTM A123.

2.7. **Simulación de la gradiente de corrosión en piezas seleccionadas**

La simulación se realizó en el software Ansys versión estudiantil empleando el módulo Fluent para calcular la trayectoria de las nanopartículas al depositar sobre los elementos componentes de acero galvanizado con la finalidad de observar los efectos de la corrosión en las piezas diseñadas en SolidWorks sin recubrimiento y con recubrimiento de nanopartículas.

2.7.1. Modelo de reacción electroquímica

Las reacciones electroquímicas son expresadas a través de las siguientes ecuaciones:

$$\sum_{i=1}^N v_i' M_i^{z_i} \leftrightarrow \sum_{i=1}^N v_i'' M_i^{z_i} + \left(\sum_{i=1}^N (v_i'' - v_i') z_i \right) \bar{e} \quad (1)$$

En la ecuación (1) se puede visualizar que los mecanismos básicos de la corrosión siguen los principios de una batería por lo que es necesario modelar las reacciones electroquímicas.

La ecuación (2) representa la ecuación de Butler Volmer y se la utiliza para estudiar la cinética de la reacción que es la siguiente:

$$i_a = i_0 * 10^{-\eta/b} \quad (2)$$

Donde:

η = sobrepotencial definido por $\eta = \phi_{ed} - \phi_{el} - E_{eq}$

b = pendiente de Tafel (v) $b = \frac{2.303 RT}{\alpha F}$

i_0 = cambio de densidad de corriente (A/m²)

Dentro de la pieza metálica el mismo metal puede actuar como ánodo y cátodo en ambas reacciones están determinados por la ecuación de Butler Volmer.

La corriente eléctrica es el flujo neto de las especies cargadas y se la describe en la ecuación (3) que es la siguiente:

$$i = \sum_k Z_k N_k = F \left(-\sum_k Z_k D_k \nabla_{ck} + \mu \sum_k Z_k C_k - \nabla P \sum_k Z_k^2 M_k F C_k \right) \quad (3)$$

En la ecuación (4) se expresa la neutralidad de la carga:

$$\sum_K Z_k C_k = 0 \quad (4)$$

Para obtener la ecuación (5) se elimina el segundo termino simplificando la ecuación:

$$T = F^2 \sum_K z^2 k_m k C_k \quad (5)$$

Se obtiene la ley de conservación de cargas representada a continuación como nuestra ecuación (6)

$$T^* i = 0 \rightarrow \nabla^* (G \nabla_{\phi}) = 0 \quad (6)$$

2.7.2. Caracterización geométrica del equipo de estudio

El primer paso para realizar un estudio de elementos finitos es realizar una caracterización de los componentes a estudiar (abrazadera), se obtienen las medidas y características de la

pieza de estudio se crea un modelo virtual (CAD) para así introducir este modelo en el programa y realizar el estudio de elementos finitos (FEA).

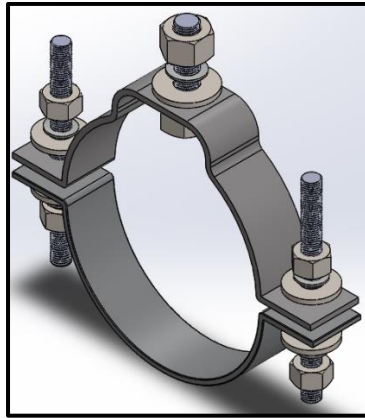


Fig. 21. Abrazadera analizada.

Fuente: Propia

En la Fig.21 se observa la abrazadera que es importada desde el SolidWorks al estudio de elemento finitos (FEA) de Ansys Fluent.

2.7.3. Elaboración del sólido de estudio

Debido a las limitaciones presentadas por la versión estudiantil del software Ansys debemos trabajar con una sección del modelo y puesto que el estudio es sobre como la corrosión afecta al material base esta selección de componentes para el estudio no genera ningún tipo de problema.

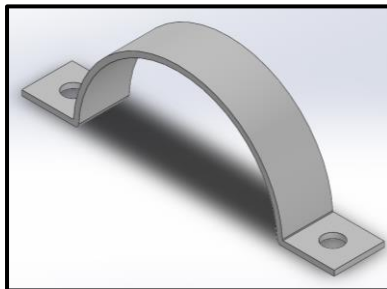


Fig. 22. Abrazadera seleccionada.

Fuente: Propia

En la Fig.22 se observa una parte de la abrazadera, en pocas palabras se observa la oreja de la parte inferior y se realizó un corte transversal para crear el sólido que se someterá a las simulaciones con las diferentes nanopartículas en condiciones de laboratorio.

2.7.4. Elaboración del ensamble de la pieza para el estudio

Este estudio analiza la forma en la que el material base de la pieza de estudio es afectado por el proceso de oxidación/corrosión que es generado debido a la exposición a la atmosfera por lo tanto hay que tomar una parte de esta para así poder analizar sus interacciones.

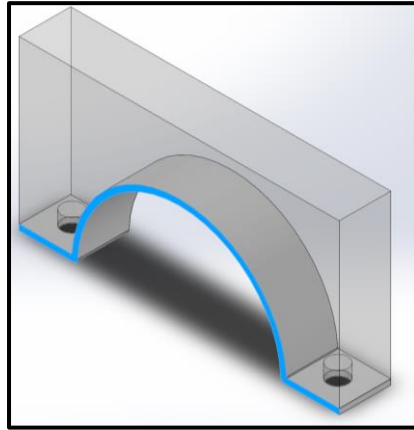


Fig. 23. Abrazadera con volumen de aire.
Fuente: Propia

En la Fig.23. se observa que se genera el material al que está sometido la abrazadera para las pruebas de simulación que sería el aire el medio que afectará directamente la superficie de la abrazadera.

2.8. Simulación del modelo CAD en el software Ansys Fluent

Para evaluar existe un efecto de la humedad contra las piezas metálicas, se utilizó tres métodos que son: medición visual, gramaje, mediciones de resistencia, resistencia del área superficial externa.

El propósito de la simulación del proceso de oxidación/corrosión en la abrazadera mediante ANSYS® es corroborar el tiempo que la pieza soportara las condiciones climáticas antes de requerir un reemplazo y de esta manera determinar el mejor tipo de material para su fabricación. Inicialmente se desarrolló la geometría de la abrazadera en el programa SOLIDWORKS, una vez obtenidos los parámetros se importan a ANSYS® WORKBENCH para realizar la simulación completa, con los datos en ANSYS® se trabaja con el complemento "fluent" como se muestra en las figuras 25 y 26:

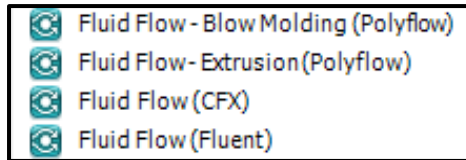


Fig. 24. Ícono de Fluent.
Fuente: (ANSYS®, 2012)

En la Fig.24. se observa los módulos de fluido que presenta Ansys para sus diferentes estudios, en nuestro caso nos centramos en el módulo fluent.

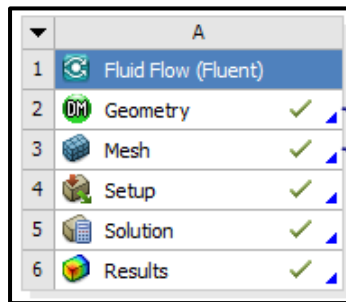


Fig. 25. Static Structural (Ansys).
Fuente: (ANSYS®, 2012)

En la Fig.25. nos muestra el proceso de estudio del módulo fluent, partiendo desde la geometría del modelo, mallado, configurando el modelo a los parámetros que exige el estudio para obtener los resultados y presentarlos en graficas Excel para su correcta visualización. Una vez en el “fluent” se selecciona el componente “Geometry” donde se abre el subprograma “Desig modeler” o modelador de diseño como se muestra a continuación:

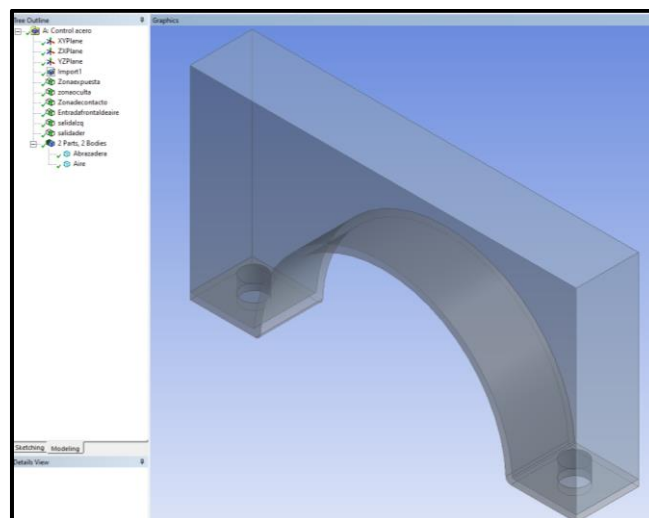


Fig. 26. Geometría en Ansys.
Fuente: Ansys

En el “design modeler” insertamos el modelo geométrico de la abrazadera, en esta interfaz se selecciona la superficie del modelo que tendrán alguno tipo de trabajo (condiciones de frontera) y se les define un nombre (Named selección), seleccionamos que tipo de solido estamos trabajando, luego de terminar la nomenclatura de todas las superficies se cierra el “design modeler”. Seguidamente se ejecuta el diseñador de malla que se puede visualizar en la Fig.27. en el cual se configura la malla general del sólido y la malla específica, en las cuales se pueden configurar o modificar los valores del tamaño, ángulo y cantidad de elementos infinitesimales.

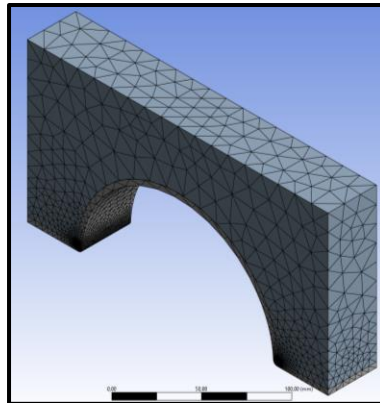


Fig. 27. Mallado.
Fuente: Propia

El mallado, es donde se crea los puntos sobre la superficie de la geometría que nos permiten, generar las ecuaciones de las zonas que se procederán a estudiar.

Recomendaciones de calidad de malla ANSYS®

El procedimiento de la generación de la malla en el bloque Meshing, es totalmente automático y cuenta con un control considerable sobre los elementos de malla, para lograr asegurar la obtención de la mejor solución de fluidos, junto con los recursos informáticos disponibles, se establece en primera instancia un control de mallado general indicado en la figura 28. en él se realiza un ajuste global en la estrategia de mallado, los cuales son: el tipo de malla a generar, el tamaño y relevancia de los elementos.

ANSYS® recomienda parámetros y rangos que se observan en la Fig.28. como la relación de asimetría (Skewness) y la calidad ortogonal (Orthogonal Quality).

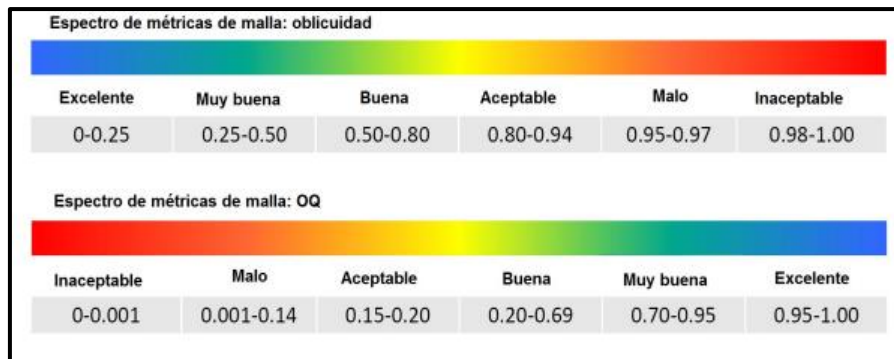


Fig. 28. Recomendaciones de calidad malla ANSYS®
Fuente: (ANSYS®, 2012)

La malla caracteriza el fenómeno de fluidización cuenta con valores óptimos tanto para la relación de simetría (Skewness) así como la calidad ortogonal (Orthogonal Quality). En la TABLA 2.4 muestra las características de nodos y elementos con sus respectivos valores estadísticos.

TABLA 2.4 Estadísticas y métricas del mallado

Nodos	73526		
Elementos	375826		
Métrica y estadístico del mallado	Relación de asimetría	Calidad ortogonal	Calidad del elemento
Mínimo	8,6905e-005	0,11825	0,23885
Máximo	0,88175	0,9965	0,99995
Promedio	0,23844	0,76015	0,83077
Desviación estándar	0,12507	0,12318	9,7715e-002

FUENTE: Propia

Se ejecuta el “setup”, al ejecutarlo este arrojará una pantalla en la cual podremos configurar la solución, esto se observa en la Fig.29 que nos permitirá elegir la forma en la que se analiza los datos de la ecuación. Establecemos las configuraciones de todas las superficies nombradas en la malla geométrica y el tipo de superficie, sus propiedades y el modelo matemático a utilizar en el cálculo de la simulación, se debe tener en cuenta que se realizaron configuraciones para cada superficie nombrada. La opción Dynamic mesh no se usó en este estudio por lo tanto están fuera de la nomenclatura.

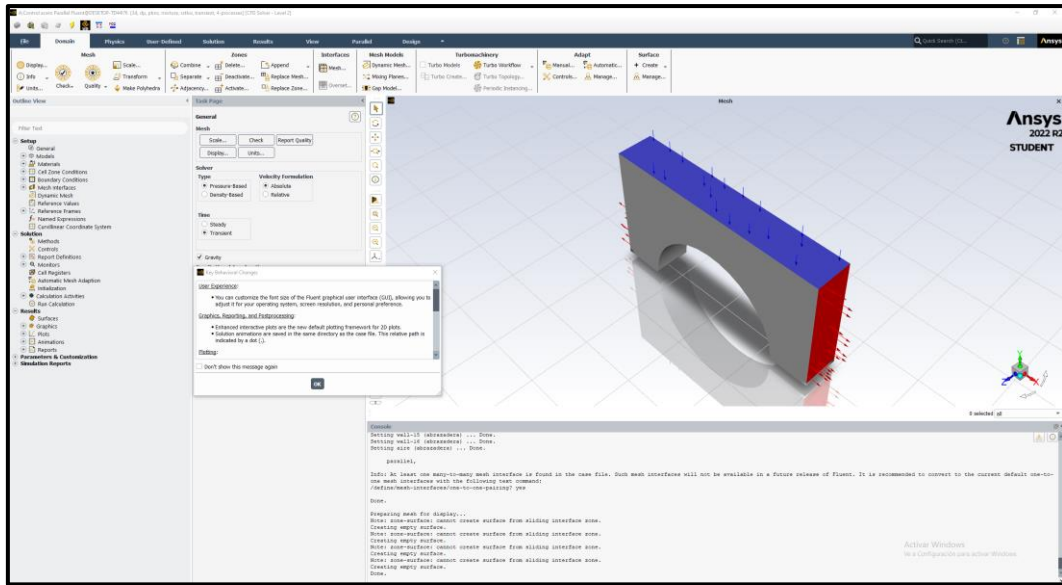


Fig. 29. Ventana del setup de ANSYS®.
Fuente: Propia.

En la primera parte del árbol de configuraciones del setup, encontramos las herramientas para definir qué tipo de estudio se va a realizar si es un tipo basado en: densidad o presión, si la velocidad será relativa o absoluta y si ese comporta de manera transitorio o estacionario, además se define las unidades en las cuales trabajaremos y si el sistema tendrá en cuenta la gravedad.

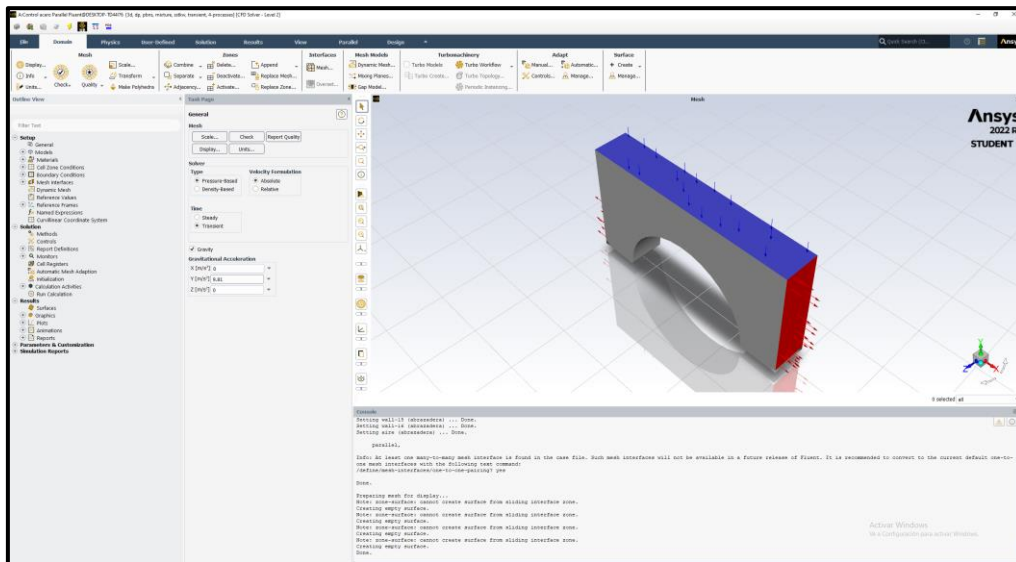


Fig. 30. Ventana del setup de ANSYS®.
Fuente: Propia.

En la Fig.30. se observa la configuración del setup en donde encontramos las opciones de modelos matemáticos disponibles y definimos cual se va a usar, para este caso en particular se optó por 2 modelos combinados, uno de ellos es el de turbulencia el k-w (2 ecuaciones diferenciales) y el otro es un modelo multifásico que detalla la Fig.31, en el cual nos permite

calcular la interacción entre varios sólidos y fluidos. Se debe tener en cuenta que para este caso se utiliza la opción de análisis con tratamiento estándar de pared.

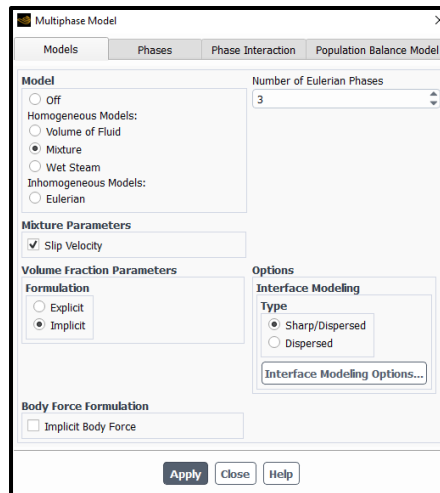


Fig. 31. Configuraciones del setup de ANSYS®.
Fuente: Propia

En la Fig.32 se visualiza la configuración de sistema de fases encontramos las opciones para ajustar las fases que interactúan los mecanismos de reacción y la forma de interacción de cada uno de ellos.

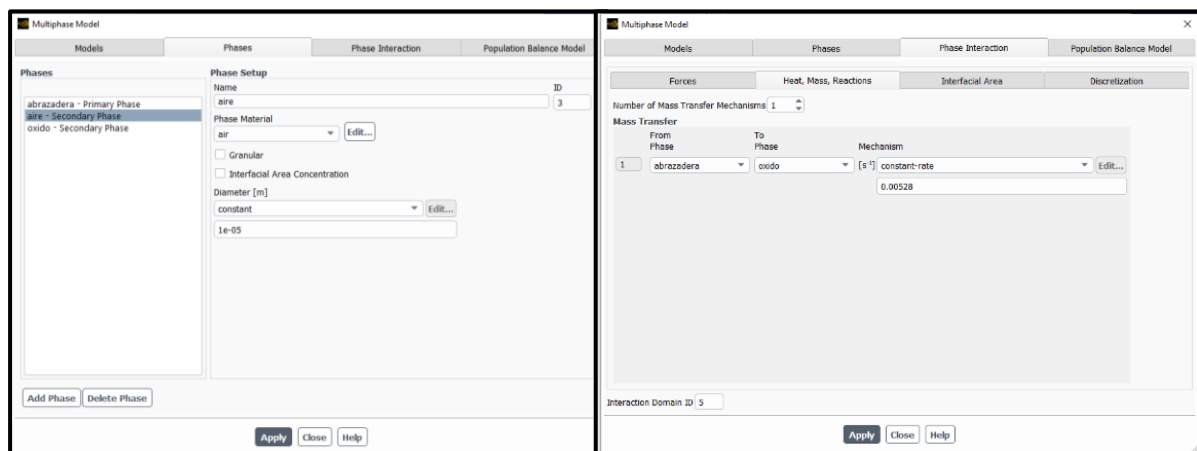


Fig. 32. Configuraciones de las fases en el setup de ANSYS®
Fuente: Propia

La tercera opción del árbol de configuración se encuentra la opción de configuración de los materiales de trabajo que se puede observaren la Fig.33 en donde se elige y edita los materiales a las condiciones de estudio, debido a que estamos trabajando bajo el supuesto de condiciones atmosféricas de intemperie debemos definir el material de trabajo como aire (para la atmosfera) y cada uno de los materiales de estudio para la pieza de abrazadera, por defecto ANSYS® asigna una temperatura de 15°C, la cual debe ser modificada a 25 °C, del mismo modo se modifican parámetros de viscosidad y densidad.

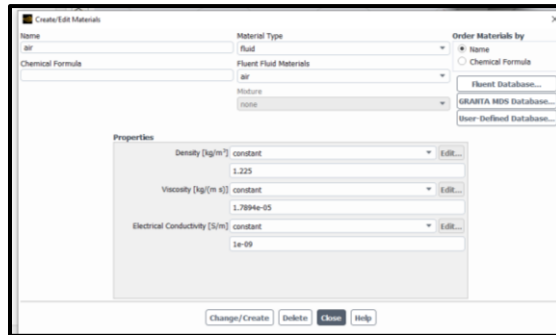


Fig. 33. Selección/Edición de material
Fuente: Propia.

En la cuarta opción del árbol de configuración, encontramos condiciones zonales, esta opción nos permite configurar de manera individual cada sólido mallado que estemos usando, ya sea el caso en el que se requiera definir un material diferente para el sólido o si este tiene algún régimen de movimiento particular.

En la Fig.34 se observa la configuración de las condiciones zonales en nuestro caso de la provincia de Imbabura con la finalidad de determinar el daño corroído del recubrimiento con el transcurso del tiempo en dicha zona de estudio.

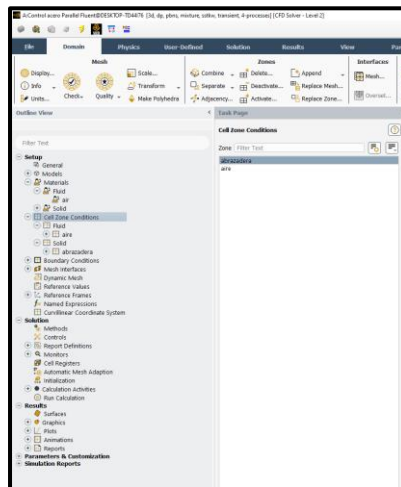


Fig. 34. Configuraciones de las condiciones zonales en el setup de ANSYS®.
Fuente: Propia.

En la quinta opción del árbol de configuración encontramos condiciones de frontera, en la Fig.35 muestra la configuración del “named selection” o conocidos como (grupos de superficies) que se crearon en el Design modeler, en este paso indicaremos que función cumple cada superficie del modelo 3D para ello se debe agregar las condiciones de frontera adecuadas según el funcionamiento de la superficie.

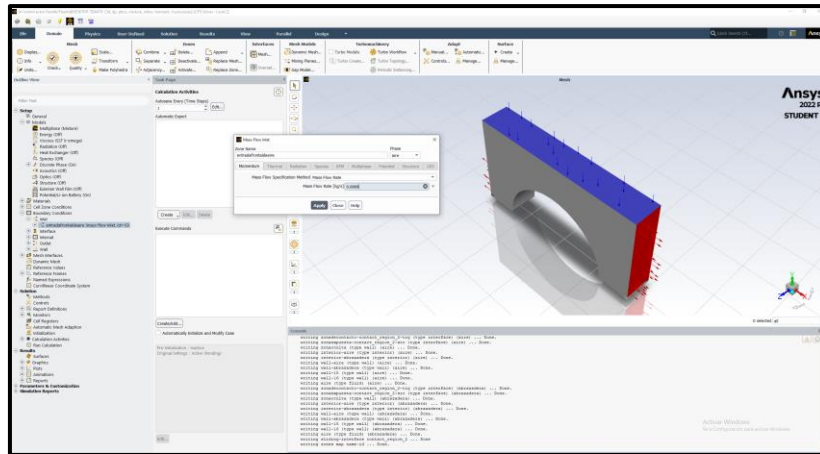


Fig. 35. Condiciones de frontera.
Fuente: Propia.

En la sexta opción del árbol de configuración, encontramos interfaz de malla, esta opción nos permite configurar la interacción entre las mallas de los elementos y los cuerpos sólidos.

En la séptima opción del árbol de configuración, encontramos valores de referencia, en esta ventana configuramos los valores iniciales o las condiciones con las que se va a empezar a simular, en este caso, solo nos interesan las condiciones densidad, temperatura y viscosidad. En la Fig.36 se establecen los valores referenciales de humedad, densidad y temperatura empleadas para el trabajo en laboratorio

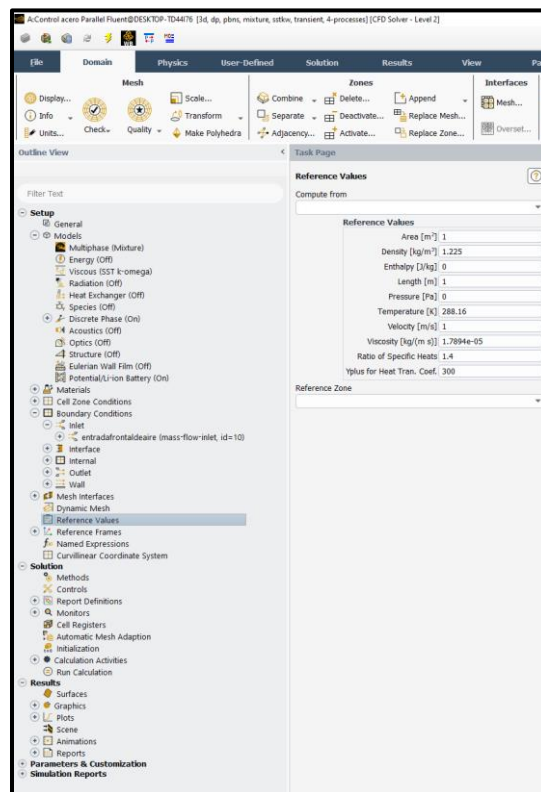


Fig. 36. Configuración de valores de referencia.
Fuente: Propia.

Después que todas las superficies están configuradas y ya se estableció la cantidad de interacciones, se procede a simular el modelo.

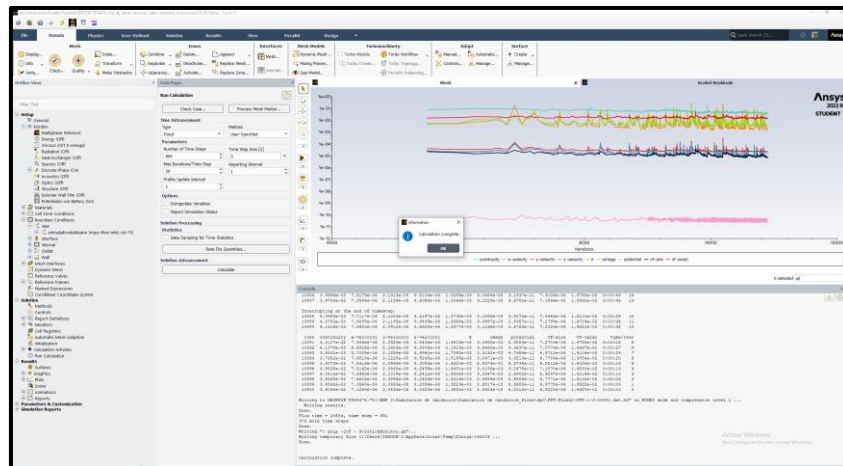


Fig. 37. Simulación del modelo en ANSYS®.
Fuente: Propia.

En la Fig. 37 se puede observar los resultados en el setup-solver de Ansys®, después se procede a cerrar el setup-solver para ejecutar el CFD-Post y poder visualizar los resultados numéricos de manera gráfica como se observa en la Fig.38. Desde el CFD-Post, se procede a crear los planos y superficies sobre las cuales deseamos visualizar y analizar los datos arrojados por la simulación, si se pretende analizar un punto en particular se usa la herramienta probeta y con esta obtenemos el valor numérico de cualquier punto sobre el plano o superficie de estudio.

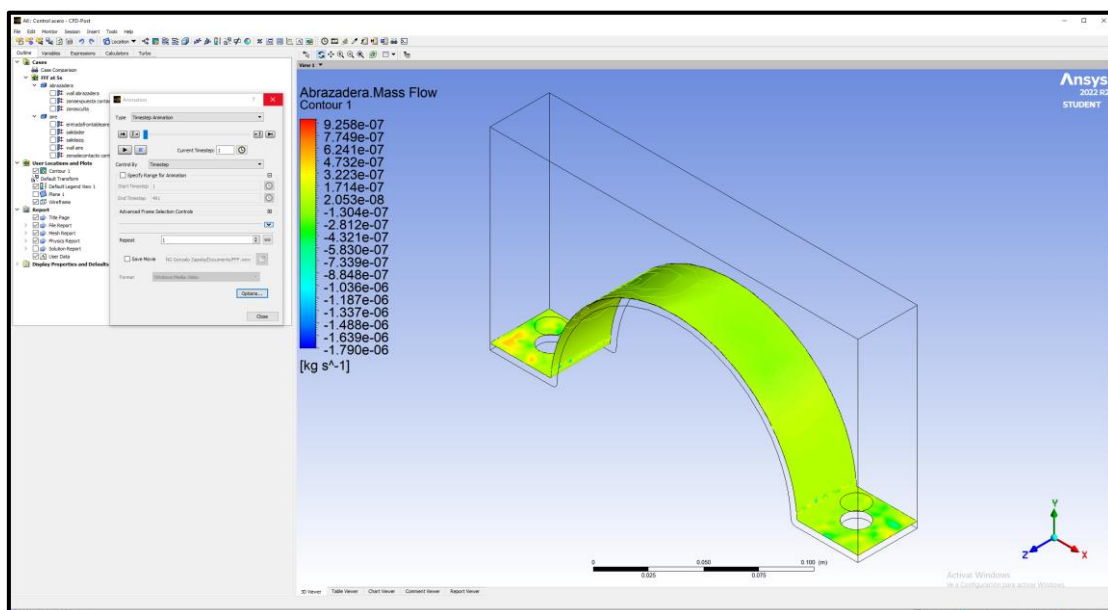


Fig. 38. CFD Post-Abrazadera.
Fuente: Propia.

Se pueden asignar variables que se desean conocer y verificar con el calculador de parámetros, en este estudio se procede a conocer la velocidad y distribución del óxido o corrosión sobre la pieza de estudio.

Capítulo 3

Análisis comparativo de los recubrimientos nanoestructurados

En el presente capítulo, se dan a conocer los resultados obtenidos por medio de simulaciones FEA del proceso de oxidación de un elemento compuesto por acero galvanizado y este es recubierto con nanopartículas de Dióxido de Titanio (TiO_2), Grafeno (GE) u Óxido de Silicio (SiO_2), la simulación se realiza colocando una película protectora de los materiales anteriormente mencionados para mejorar la resistencia al proceso de oxidación superficial de estructuras, herrajes y demás componentes de la red de distribución eléctrica.

3.1. Introducción

Las características de las nanopartículas empleadas en la deposición superficial sobre la abrazadera mejoran la condición de la pieza ante los factores ambientales que propagan la corrosión. Para la simulación de la gradiente de corrosión es necesario obtener las propiedades mecánicas de cada nanopartícula, de tal manera que se establezca una comparativa (antes-después de aplicar los recubrimientos).

El desarrollo de esta investigación involucra el estudio en bases bibliográficas tales como: Scopus, revistas científicas, tesis y páginas de internet, además consta de un diseño y construcción de la pieza, para finalizar con la simulación de sus propiedades con la finalidad de proponer recubrimientos nanotecnológicos para su posterior aplicación sobre el acero galvanizado.

La investigación experimental del tema se basa en la revisión sistemática de artículos científicos que emplean recubrimientos nanotecnológicos para ser depositados en materiales metálicos con la finalidad de reducir el desgaste de la superficie del material por corrosión y con ello aumentar la película superficial del material, para comprobar los resultados se realiza una simulación en Ansys Fluent CFD (dinámica de fluidos computacional).

Las nanopartículas utilizadas en esta investigación son las nanopartículas de dióxido de titanio (TiO_2), grafeno (GE) y óxido de silicio (SiO_2) que mediante la simulación del gradiente de corrosión se da a conocer las propiedades resistentes al desgaste por corrosión del material. En la simulación, para depositar a la pieza de nanopartículas se considera la parte exterior de la pieza, puesto que se desea mejorar la superficie externa del herraje.

3.2. Resultados de la caracterización inicial del acero galvanizado sin recubrimiento

El material inicial de los elementos componentes de la red de distribución eléctrica es el acero galvanizado que se depositó en la simulación de SolidWorks en el diseño de la pieza

en donde se obtuvo las siguientes características:

TABLA 3.1 Propiedades del acero galvanizado

Material	Acero galvanizado (ASTM A36)
Límite elástico mínimo	250 MPa
Resistencia a la tracción	400-550 MPa
Módulo de elasticidad	200 GPa
Alargamiento a la rotura (en 200 mm)	20%
Alargamiento a la rotura (en 50 mm)	23%
Módulo volumétrico (típico para el acero)	140 GPa
Coefficiente de Poisson	0.260
Módulo de corte	79.3 GPa

Fuente: Propia

Las propiedades que se muestran en la TABLA 3.1 hacen referencia a la capacidad de esfuerzo mecánico del material, es decir son las propiedades del material del herraje sin ningún recubrimiento.

En la TABLA 3.2 se observan los parámetros de la simulación que tiene la abrazadera para el cálculo del caudal, recordamos que el caudal va en función del área transversal a la zona por donde pasa el fluido.

TABLA 3 2 Parámetros de estimación de pérdida de masa

Parámetro	Valor
Área (m ²)	0,008963
Velocidad del viento m/s	7
Caudal	0,062741
Densidad	1,29
Flujo masico kg/s	0,08093589
V por metro de altura	100V

Fuente: Propia

En la Fig.39 se presenta la simulación del componente sin ningún recubrimiento y se puede apreciar que la pieza tiende a corroerse en uniones o dobles de la pieza, en consecuencia, el nivel de corrosión es mínimo de acuerdo con la escala de la masa en la abrazadera. el punto máximo de corrosión es de 1,025E-06 kg/s, cabe recalcar que a la

simulación se le ajusto la escala de tiempo para generar un valor significativo, puesto que cada vez que la simulación avanza un paso no hace referencia a 1 segundo sino a 15 minutos, el valor utilizado para la estimación de masa es de $3,18E-07$ kg/s con la finalidad de calcular remoción del material a largo plazo, es decir todos los valores que se está trabajando dentro de los parámetros presentes en la regleta de simulación de cada recubrimiento.

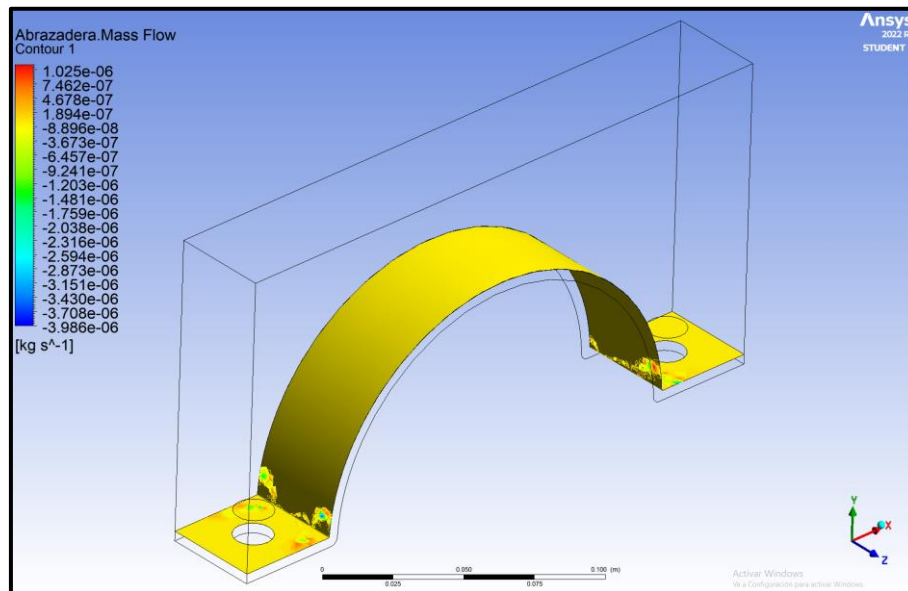


Fig. 39. Simulación del componente de acero galvanizado en ANSYS®.
Fuente: Propia.

Se realizó una comparativa entre la abrazadera en condiciones de laboratorio con la abrazadera en condiciones salinas, en donde se observó que el punto de oxidación es más elevado en ambientes salinos que el de la abrazadera en condiciones de laboratorio, debido a que las partículas salinas se impregnan en la superficie del metal acelerando el proceso de la corrosión en el metal de acero galvanizado.

En ambiente de salinidad el punto máximo de corrosión es de $2,626E-06$ kg/s y el valor que se toma para la simulación es el $5,54E-07$ kg/s, debido a que es un valor promedio que se ajusta dentro de los valores resultantes dentro de la regleta de simulación, esto se puede observar en la Fig.40.

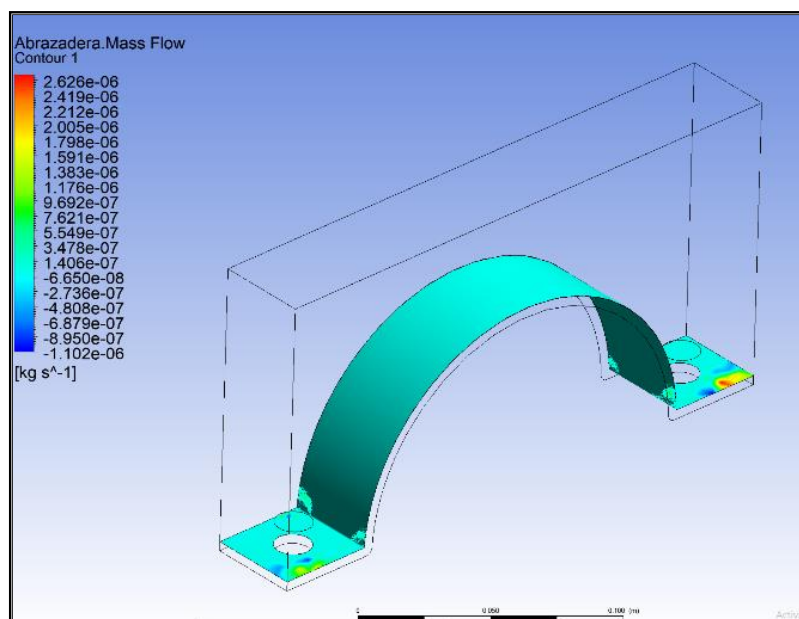


Fig. 40. Simulación del componente de acero galvanizado en condiciones salinas en ANSYS®. Fuente: Propia.

En la Fig.40 se observa que la degradación por año es más acelerada en comparación a las nanopartículas depositadas, para este ambiente se recomienda emplear nanopartículas de TiO_2 por su ambiente abrasivo.

3.3. Resultado del acero galvanizado con recubrimientos nanoestructurados

Las piezas diseñadas en SolidWorks son importadas al software ANSYS Fluent para realizar el estudio o análisis de elementos finitos, donde se obtuvo la data del material recubierto. Para configurar adecuadamente la simulación, se procede a agregar los datos de cada nanopartícula personalizando así cada uno de los diferentes recubrimientos estudiados ingresando las variables y parámetros necesarios, en la TABLA 3.3 se observa la pieza depositada de nanopartículas de TiO_2 que presentan las propiedades mejoradas tales como:

TABLA 3. 3 Resultados simulación nanopartículas de TiO_2

Material	Abrazadera (TiO_2)
Estructura	Tetragonal
Densidad	4,06 ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
Dureza	5.5-6.0 Mohs
Índice de refracción	2.48-2.56
Espesor del revestimiento	50 nm
Área superficial	35-65 m^2/g

Fuente: Propia

Las características que adquiere la pieza de acero galvanizado hacen referencia a un incremento en el espesor y área superficial de la abrazadera, lo que brinda mayor dureza del revestimiento entre 5.5-6.0 mayor que en condiciones iniciales.

En la TABLA 3.4 se visualiza la pieza depositada de nanopartículas de Grafeno (GE) que presenta las siguientes propiedades mejorada tales como:

TABLA 3. 4 Resultado simulación nanopartículas de GE

Material	Abrazadera (GE)
Estructura	Hexagonal
Densidad	2,270 (g.cm ⁻³)
Dureza	9,5 Mohs
Índice de refracción	3.135 y 0.897
Espesor del revestimiento	0,34 nm
Área superficial	2 630 m ² /g

Fuente: Propia

En la TABLA 3.5 se visualiza la pieza depositada de nanopartículas de Grafeno (GE) que presenta las siguientes propiedades físicas tales como:

TABLA 3.5 Resultado simulación nanopartículas de SiO₂

Material	Abrazadera (SiO₂)
Estructura	Cuarzo
Densidad	2,65 (g.cm ³)
Dureza	9,2 Mohs
Índice de refracción	1,46
Espesor del revestimiento	60 nm
Área superficial	337 m ² /g

Fuente: Propia

La abrazadera fue estudiada estructuralmente mediante Ansys Fluent con la finalidad de obtener un perfil de corrosión antes y después de aplicar un recubrimiento de nanopartículas.

3.4. Resultados de la gradiente de corrosión

Para visualizar la gradiente corrosiva en los materiales en función al tiempo se trabaja bajo las siguientes condiciones de laboratorio de 15,9 °C y una humedad relativa de 70,56%, la formulación con mejores resultados se puede describir en la siguiente tabla:

TABLA 3.6 Gradiente de la corrosión de las nanopartículas (-TiO₂, GE, SiO₂)

Nanopartículas	Temperatura	Humedad relativa	Pérdida de masa con respecto al tiempo
Dióxido de Titanio TiO ₂	15,9 °C	70,56%	7,827E-08 kg/s
Grafeno GE	15,9 °C	70,56%	5,41E-08 kg/s
Óxido de Silicio SiO ₂	15,9 °C	70,56%	6,88E-09 kg/s

Fuente: Propia

La TABLA 3.6 presenta el grado de deterioro que sufre la abrazadera de acero galvanizado con el paso de los años, los factores que influye considerablemente son la temperatura y la humedad relativa obteniendo con las nanopartículas de TiO₂ a una temperatura de 15,9°C a 70,56% de humedad relativa la gradiente de corrosión es de 7,82175E-08 kg/s, siendo estas nanopartículas la que menor protección brinda a la abrazadera.

El grado de que se presenta en la superficie de la abrazadera recubierta con nanorecubrimientos es mínimo está entre el rango de 0-1, el punto máximo de corrosión empleando recubrimientos de TiO₂ es de 1,439E-06 kg/s esto se puede observar en la Fig.41.

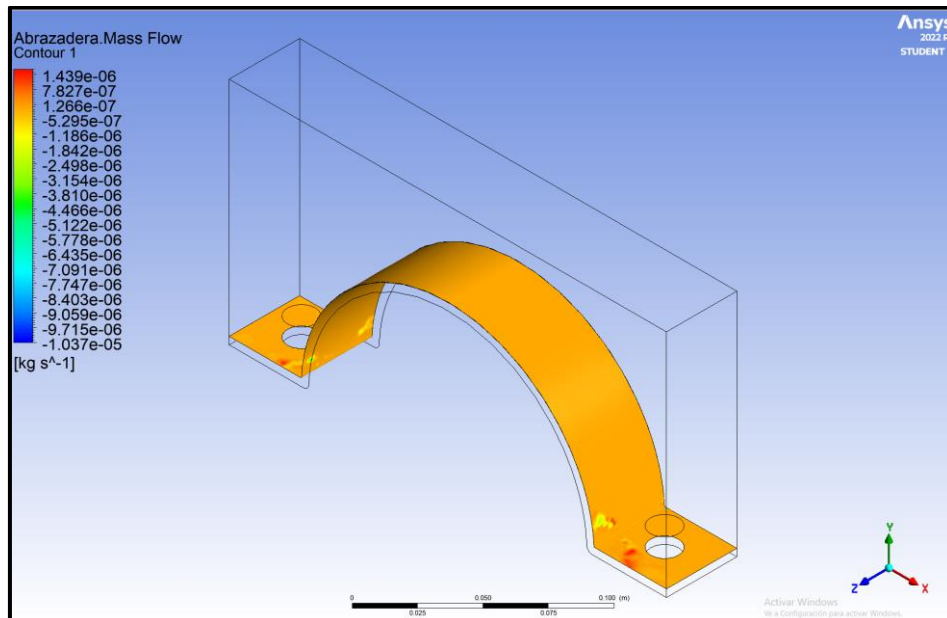


Fig. 41. Simulación del componente de acero galvanizado recubierta con TiO₂ en ANSYS®.
Fuente: Propia.

En la Fig. 42 se observa el grado de corrosión en las nanopartículas de grafeno (GE) reflejan un incremento de corrosión en la superficie de la abrazadera esto se debe a las condiciones iniciales de simulación y datos en las propiedades que se depositó en la capa superficial de la pieza teniendo los siguientes valores a temperatura de 15,9°C a 70,56% de humedad relativa el punto máximo de corrosión es de 7,405E-06 kg/s, el valor empleado para el cálculo de estimación de masa es 5,41E-08 kg/s que se lo tomo de los datos resultantes que muestra la gradiente de corrosión.

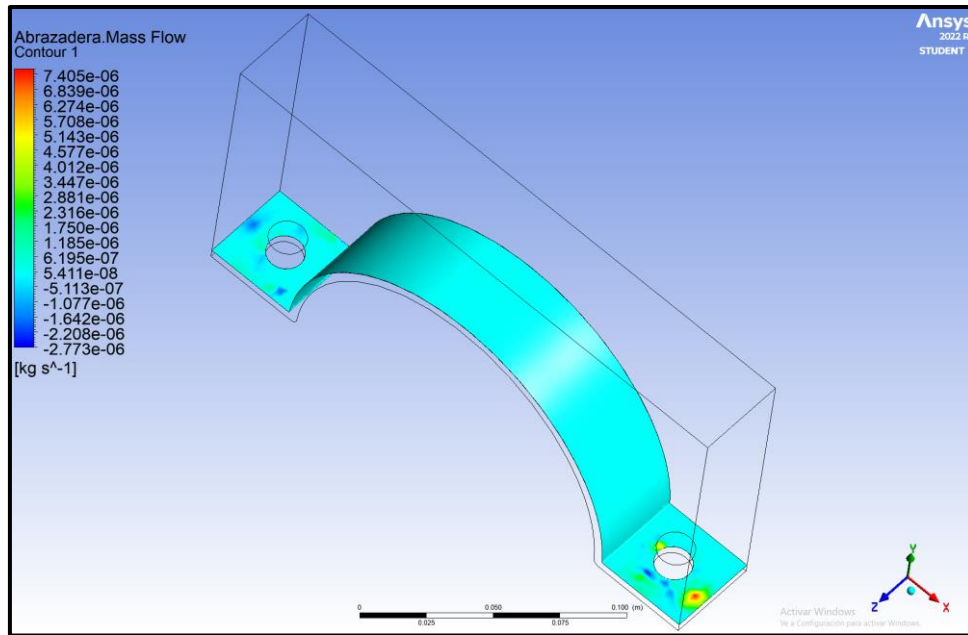


Fig. 42. Simulación del componente de acero galvanizado recubierta con GE en ANSYS®.
Fuente: Propia.

En la Fig.43 se observa que las nanopartículas de SiO_2 depositadas sobre la capa superficial de la abrazadera muestran el menor grado de desgaste corrosivo en la pieza con el paso del tiempo reflejando los siguientes datos: a temperatura de 15,9°C a 70,56% de humedad relativa el punto máximo de corrosión es de 2,265E-06 kg/s, el valor que se empleó para obtener la estimación de pérdida de masa de este recubrimiento es de 6,88E-09 kg/s que está dentro de los datos resultantes en el cálculo de la gradiente de corrosión.

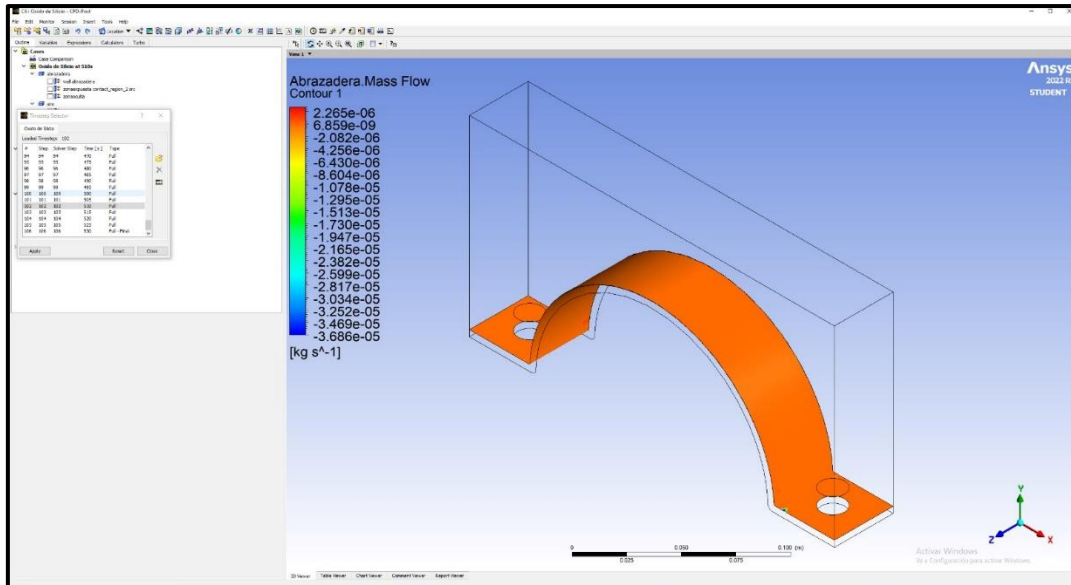


Fig. 43. Simulación del componente de acero galvanizado recubierta con SiO₂ en ANSYS®. Fuente: Propia.

Después del análisis comparativo y obtener las nanopartículas ideales para mejorar la resistencia al desgaste contra la corrosión de los 3 recubrimientos nanotecnológicos y tener los resultados de la simulación en Ansys Fluent se puede determinar que las nanopartículas de SiO₂ tienen mayor resistencia al desgaste por corrosión esto se refleja con menor grado de concentración de impurezas en la superficie de la pieza.

La simulación se realizó tomando en cuenta que el fluido al que estuvo expuesta la pieza es el aire, puesto que la abrazadera cumple su función de sujeción de herrajes, es por ello que los efectos ambientales a los que esta pieza está sometida genera concentraciones de impurezas y degradación superficial de la pieza que con el paso de los años pierde la funcionalidad, es por ello que aplicando recubrimientos de TiO₂, GE y SiO₂ mejora la resistencia al desgaste, se lo comprobó mediante la simulación en Ansys Fluent.

Con base a los resultados obtenidos en la deposición de nanopartículas en el material galvanizado, se puede determinar que la pieza con nanorecubrimientos de TiO₂, GE y SiO₂ aumentaron ligeramente su peso a comparación de la pieza que no se realizó el proceso de deposición.

La cantidad de nanopartículas aplicadas en la superficie exterior de la abrazadera se puede observar en la siguiente TABLA 3.7

TABLA 3 7 Concentración de nanopartículas sobre la superficie de la abrazadera

Nanorecubrimientos	Cantidad ml	Área aplicada superficie
Dióxido de Titanio TiO ₂	700ml	38 mm x 6 mm
Grafeno GE	600 ml	38 mm x 6 mm
Oxido de Silicio SiO ₂	550 ml	38 mm x 6 mm

Fuente: Propia

En la TABLA 3,7 se da a conocer la cantidad en ml de las nanopartículas empleadas para aplicar sobre la abrazadera teniendo en cuenta que las nanopartículas de TiO₂ se aplican mayor cantidad de nanopartículas reforzando la pieza e incrementando el espesor de la capa final de la abrazadera.

La comparación entre las diferentes nanopartículas aplicadas en la superficie de la abrazadera se realizó sobre e material de acero galvanizado, determinando que el recubrimiento que presenta mejor comportamiento de control de corrosión en dicha superficie es el recubrimiento en base a nanopartículas de SiO₂.

El estudio realizado atribuye a trabajar con recubrimientos nanotecnológicos sobre materiales que se encuentran instalados a la intemperie y por ente expuestos a sufrir desgaste por corrosión, puesto que en todas las ciudades existen factores en el aire que acelera la degradación del material, por lo cual una vez terminada la simulación se puede conocer el grado de corrosión que sufre el diseño de la abrazadera, esto se puede apreciar en la TABLA 3,8.

TABLA 3. 8 Gradiente de corrosión

Grado de Corrosión	Descripción
0	No existe corrosión, o es menor que 0.01% de superficie corroída
1	Corrosión mínima, menos del 0.03% de superficie corroída.
2	Poca corrosión, menos que 0.1% de superficie corroída.
3	Menos que el 0.3% de superficie corroída.
4	Alguna corrosión en sitios, sin embargo, menos que el 1% de superficie corroída.
5	Corrosión que se extiende al 3 % de superficie corroída.
6	Corrosión que se extiende al 10% de superficie corroída.
7	Aproximadamente una sexta parte de superficie corroída.
8	Aproximadamente la tercera parte de la superficie corroída.

9	Aproximadamente la mitad de la superficie corroída.
10	Aproximadamente el 100% de la superficie corroída.

Fuente: (Giles, 2017)

Según el estudio realizado, se corroboró que las nanopartículas de TiO_2 , GE y SiO_2 contribuyen a la resistencia del acero galvanizado ante el desgaste por corrosión, estableciendo que las nanopartículas de SiO_2 presentan la menor gradiente de corrosión la misma que puede ser depositada sobre la abrazadera y puesta en funcionamiento en la intemperie para validar los resultados obtenidos.

3.5. Estimación de la pérdida de masa

La estimación de cantidad de masa que se transforma por unidad de tiempo con la exposición de la atmosfera consiste en obtener una serie de parámetros como son el factor de seguridad (fs) que por ingeniería los factores de seguridad básicos están entre (1,1-1,2) como mínimo, que sería un 20% de seguridad o resistencia y como la resistencia se da en función del volumen esto me da que tengo un 20% adicional de masa.

En la TABLA 3.9 se observa que la masa total de pieza es de 370 gramos y se procedió a determinar la mínima masa que debe tener la pieza para obtener un factor de seguridad de 1% obteniendo 308,33 gramos, entonces este es el límite máximo que se puede perder antes que el sistema falle, por lo general no se está trabajando a máxima carga (75% de la carga máxima), cuando la cantidad de masa este en 308,33 gramos el sistema puede fallar bajo un esfuerzo mecánico externo, si la masa llega 262,08305 gramos se puede concluir que nuestra pieza tiene una cantidad considerable de oxidación y que ya no cumple la función de sujeción entre el poste y los demás herrajes, esta masa se la encuentra de una diferencia entre el valor de pérdida aceptable que es el 15% y la masa cuando el factor de seguridad es 1, el valor de perdida aceptable 15% se obtiene del producto de la masa de 308,33 con el 0.15 teniendo como resultado 46,24995 gramos.

En la TABLA 3.9 se observa los valores de conductividad eléctrica que es propia de cada material, además se puede añadir que la atmosfera tiene un potencial eléctrico de 100V por cada metro de altura con relación a tierra, entonces si la abrazadera se instala a 8 metros de altura tenemos 800V como energía potencial y este potencial eléctrico juntos a los efectos climatológicos como temperatura y humedad son los que generan la oxidación. En la Tabla 3.9 tenemos la sección de tiempo de duración de cada material, estos tiempos son teóricos de cada material que pueden llegar a funcionar en condiciones bajas o suaves, en pocas palabras las mejores condiciones, puesto que para el acero galvanizado se tiene un tiempo de duración de 70 años, para el dióxido de titanio (TiO_2) 150 años, para el grafeno se tiene 300 años de duración y para el óxido de silicio (SiO_2) 500 años, estos valores se los obtuvo

de la Norma ISO 12944:2018 (Normativa anticorrosión) donde hace referencia estos valores en condiciones de estudio o laboratorio o que sean menos agresivas. (ISO 12944, 2018)

La resistencia al desgaste en la superficie del metal se origina por las partículas que raspan la superficie o la película depositada en la abrazadera, esto debido a que el aire arrastra partículas de arena, polvo que chocan con la superficie pintada y van arrancando las partículas depositadas, es decir en ambiente abrasivo el recubrimiento de TiO_2 presenta las mejores características, pero el costo de su deposición es elevado en comparación al recubrimiento de SiO_2 .

En la TABLA 3.9 nos muestra el cálculo del coeficiente de pérdida de masa por año, para este cálculo se toma en consideración la transformación del año a segundos que sería 31'536,000 segundos, después se encuentra el coeficiente de pérdida de masa que es la relación entre la masa total y el producto de los años de duración y años en segundos.

TABLA 3.9 Datos de pérdidas de masa

Material	FS	Conductividad eléctrica	Años de duración	Segundos por año	Coficiente de pérdida de masa (s)	Coficiente de pérdida de masa (Año)	Coficiente acelerado	Pérdida de masa por segundo (simulación)	Pérdida de masa por segundo	Pérdida de masa anual (kg)	Pérdida de masa anual (g)
Acero galvanizado - salinidad	1,2	2,77778E-07	25	31536000	4,69305E-07	14,8	0,0148	5,54E-07	5,54E-10	0,017470	17,47094
Acero Galvanizado	1,2	2,77778E-07	70	31536000	1,67609E-07	5,28571428	0,0052	3,18E-07	3,18E-10	0,010028	10,02844
Dióxido de Titanio	1,2	3,4965E-08	150	31536000	7,82175E-08	2,46666666	0,00246	7,82E-08	7,82E-11	0,002466	2,466115
Grafeno	1,2	1,05263E-08	300	31536000	3,91087E-08	1,23333333	0,00123	5,41E-08	5,41E-11	0,001706	1,706097
Óxido de Silicio	1,2	3,33333E-09	500	31536000	2,34652E-08	0,74	0,00074	6,88E-09	6,88E-12	0,0002169	0,216967

Fuente: Propia

Según la TABLA 3.9 se tiene que el coeficiente de pérdida de masa por año es en el acero galvanizado es de 5,2857 gramos, el mismo material sometido a condiciones agresivas en ambiente salino tiene un coeficiente de pérdida de 14,8 gramos, depositando nanopartículas de TiO₂ se obtiene un coeficiente de pérdida de 2,4666 gramos, en el grafeno 1,2333 gramos y en el óxido de silicio de 0,74 gramos el mismo que se le añade en la configuración del setup para la simulación, cabe recalcar que el valor de pérdida de masa por segundo se obtuvo de la simulación en Ansys Fluent.

TABLA 3,10 Datos de pérdidas de masa

Material	Perdidas a 5 años	Perdidas a 10 años	Perdidas a 15 años	Perdidas a 20 años	Perdidas a 30 años	Masa total	Diferenciación de fs	Valor de pérdida aceptable (15%)	Mínima cantidad de masa
Acero galvanizado - salinidad	87,35472	174,70944	262,06416	349,41888	524,12832	370	308,333	46,24995	262,08305
Acero Galvanizado	50,14224	100,28448	150,42672	200,56896	300,85344	370	308,333	46,24995	262,08305
Dióxido de Titanio	12,33057	24,66115	36,991728	49,322304	73,983456	370	308,333	46,24995	262,08305
Grafeno	8,53048	17,06097	25,591464	34,121952	51,182928	370	308,333	46,24995	262,08305
Óxido de Silicio	1,08483	2,16967	3,2545152	4,3393536	6,5090304	370	308,333	46,24995	262,08305

Fuente: Propia

En base a la TABLA 3.10 podemos observar cómo pierde la masa en los materiales sin recubrimiento y los materiales recubiertos de nanopartículas en un intervalo de (5-30 años), obteniendo una excelente protección de los recubrimientos nanotecnológicos por el bajo porcentaje de pérdida de masa a comparación del acero galvanizado en ambiente limpio y en ambiente salino.

TABLA 3.11 Masa total por año

Masa total por año						
Material	1	5	10	15	20	30
Acero galvanizado-salinidad	353,60	288,01	206,01	124,02	42,03	0
Acero galvanizado	359,97	319,86	269,72	219,57	169,43	69,15
Dióxido de Titanio	369,99	369,95	369,91	369,86	369,81	369,72
Grafeno	369,99	369,93	369,87	369,80	369,74	369,60
Óxido de Silicio	370,00	370,00	370,00	370,00	369,99	369,99

Fuente: Propia

En base a la TABLA 3.11 se observa la degradación de la masa de la abrazadera en un intervalo de (1-30) años, siendo el material de acero galvanizado en ambiente salino el que se degrada por completo en los primeros 30 años, el acero galvanizado en condiciones de laboratorio supera el 50% de masa total corroída y los nanorecubrimientos presentan una pérdida mínima de masa, sobresaliendo el recubrimiento de SiO₂ con menor pérdida de masa.

TABLA 3.12 Relación de pérdida por año

Material	Relación de pérdida por año						Condición de cambio					
	1	5	10	15	20	30	1	5	10	15	20	30
Acero galvanizado-salinidad	4,43%	22,16%	44,32%	66,48%	88,64%	100%	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Cambiar	Cambiar
Acero galvanizado	2,71%	13,55%	27,10%	40,66%	54,21%	81,31%	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Cambiar
Dióxido de Titanio	0,00%	0,01%	0,03%	0,04%	0,05%	0,08%	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Grafeno	0,00%	0,02%	0,04%	0,05%	0,07%	0,11%	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Óxido de Silicio	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable

Fuente: Propia

En la TABLA 3.12 muestra los valores en porcentaje de pérdida de masa con respecto al tiempo (1 año), siendo la más susceptible a corroerse el material de hacer galvanizado instalado en ambientes salinos y el acero galvanizado en condiciones de laboratorio, en ambiente salino a los 15 años la abrazadera estará corroída casi en un 50% que limita la función para la que fue instalada, en 20 años la abrazadera deberá de ser cambiada, esto se debe a que la superficie de sujeción que esta brinda esta desintegrada por completo

CONCLUSIONES

- ❖ La revisión sistemática contribuyó a la recolección de información de recubrimientos nanotecnológicos que minimizan la corrosión sobre materiales metálicos bajo estudios validados en la base de datos Scopus con el siguiente criterio de búsqueda: ((nanotechnology OR nanocoating) AND corrosión), donde se obtuvo 254 artículos los mismos que fueron ingresados al software Vosviewer para realizar el análisis bibliométrico delimitando la coocurrencia a 10 repeticiones por palabra, obteniendo como resultado 121 palabras clave filtradas bajo el criterio de búsqueda que se empleó, mediante este estudio se pudo conocer los recubrimientos, el lugar de deposición de las nanopartículas en el material y los métodos de síntesis para su obtención.
- ❖ Obteniendo los resultados de la pérdida de masa de cada material se puede definir que el acero galvanizado es al menos 10 veces más corroible, esto quiere decir que se deteriora 10 veces más rápido en comparación con los recubrimientos nanotecnológicos
- ❖ Después de realizar la simulación de cada material en Ansys Fluent se puede observar que los valores de pérdidas de masa están en el rango de $3,18E-07$ kg/s que es del acero galvanizado (degenera más rápido) y los recubrimientos de TiO_2 con $7,82E-08$ kg/s, el grafeno con un valor de $5,41E-08$ kg/s y el SiO_2 con un valor de $6,88E-09$ kg/s lo que nos indica que los recubrimientos empleados en este estudio no fallarían por corrosión en los primeros 30 años de vida útil.
- ❖ El resultado de la estimación de pérdida de masa nos quiere decir que cuando la pieza llega a tener 308,33 gramos el sistema está oxidado, se debería cambiar, pero todavía resiste y da un tiempo de espera para su cambio, por otro lado, si está con la cantidad mínima de masa que es 262,083 la abrazadera continúa trabajando, pero cualquier momento se destruye.

RECOMENDACIONES

- ❖ Analizar el componente en su entorno real antes de tomar una elección en el recubrimiento, esto simulando en condiciones reales el elemento que se quiere recubrir.
- ❖ Para análisis de corrosión en el software Ansys la pieza diseñada en SolidWorks no deberá tener deformaciones ni aberturas entre las superficies y se debe de optar por la selección de mallas que se adapten a la estructura del herraje (abrazadera), de esta manera se trabajará en congruencia con los nodos y elementos de la malla para obtener una correcta geometría y se desarrolle sin ningún problema la simulación.
- ❖ La ventaja de realizar simulaciones de corrosión en Ansys es que nos permite realizar simulaciones empleando prototipos, por lo cual nos permite obtener propiedades del material sometidos a diferentes fluidos que pueden ocasionar corrosión, en nuestro caso el medio al que se somete el diseño (abrazadera) es el viento, en caso de que la nanopartícula no presenta las propiedades que se desea se puede simular depositando diferentes nanopartículas sobre la abrazadera.
- ❖ Después de realizar el estudio se da a conocer que el TiO_2 da mayor resistencia al desgaste, el SiO_2 da mayor resistencia a la corrosión, esto quiere decir que el SiO_2 protege por más tiempo de la corrosión y el TiO_2 protege más tiempo al desgaste por corrosión.

REFERENCIAS

- Martínez E. , Ramirez M. (2020). *Avances de investigación en Nanociencias, Micro y Nanotecnologías*. Barcelona: OmniaScience.
- Abdeen, D., El Hachach, M., Koc, M., & Atieh, M. (2019). A review on the corrosion behaviour of nanocoatings on metallic substrates. *Materials* 12(2),210., 1-42.
doi:10.3390/ma12020210
- Abdullah , W. N., Hyie, K. M., Resali, N. A., & Chong, W. T. (2012). Effect of time depositions on electrodeposited cobalt-iron nanocoating. *Advanced Materials Research*, 565-568.
doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.576.565
- Abohalkuma , T., & Telegdi, J. (2015). Corrosion protection of carbon steel by special phosphonic acid nano-layers. *Materials and Corrosion*, 1382-1390.
doi:10.1002/maco.201508304
- AENOR. (1999). *Iso_12944_2_1999*. Madrid: SIMOGA, S.L.
- Agarwala R., A. V., Agarwala, R., Agarwala , V., & Sharma , R. (2006). Electroless Ni-P based nanocoating technology - A review. *Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal - Organic, and Nano - Metal Chemistry*, 493-515. doi:10.1080/15533170600596030
- Agripina , L. (7 de Mayo de 2015). *SlidePlayer*. Obtenido de Corrosión Metálica:
<https://slideplayer.es/slide/3074399/>
- Aguirre, E. (2003). *Index*. Obtenido de
<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa2/article/view/1189/5305>
- Akbarzadeh, S., Ramezanzadeh, M., Ramezanzadeh , B., & Bahlakeh, G. (2020). A green assisted route for the fabrication of a high-efficiency self-healing anti-corrosion coating through graphene oxide nanoplatfrom reduction by Tamarindus indiaca extract. *Journal of Hazardous Materials*, 1-16. doi:10.1016/j.jhazmat.2020.122147
- Akbarzadeh, S., Ramezanzadeh, M., Ramezanzadeh, B., & Bahlakeh, G. (2020). A green assisted route for the fabrication of a high-efficiency self-healing anti-corrosion coating through graphene oxide nanoplatfrom reduction by Tamarindus indiaca extract. *Journal of Hazardous Materials*,390,122147. doi:10.1016/j.jhazmat.2020.122147
- Albella, J. (2019). Capas delgadas y modificación superficial de materiales. *Sociedad Española de materiales*, 16-17.

- Allahkaram, S. R., Zoughi, M., & Rabizadeh, T. (2010). Studying the influence of nano-Al₂O₃ particles on morphology and corrosion improvement of Ni-9P electroless coatings. *Micro & Nano Letters*, 1-4. doi:10.1049/mnl.2010.0105
- Aller, G., Roble, M., & Pereira, F. (2018). Nanorarticulas Ceramicas. *Actualidad Analítica*.
- Andrade, C., & Feliu, S. (1991). *Corrosión y protección metálicas* (Vol. 1). Madrid: CSIC Press.
- Andrade, M., Díaz, L., & Cortés, D. (2013). Materiales nanoestructurados cerámicos como un vehiculo para su liberación de principios activos. *redalyc.org*, 171- 177.
- Angel. (2021). Corrosión Intergranular. *RIMFYQ*, 1-3.
- ANSYS® . (20 de Noviembre de 2012). *Introduction to ANSYS Meshing*. Obtenido de <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2792/9/CALIDAD%20DE%20MALLA.pdf>
- Arduino. (2021). Obtenido de http://ceca.uaeh.edu.mx/informatica/oas_final/OA4/mdulo_rel.html
- Arduino. (2022). Obtenido de <https://docs.arduino.cc/software/ide-v1/tutorials/Environment>
- Arduino. (14 de Abril de 2022). *Arduino*. Obtenido de <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf>
- Argidom. (2002). *Antihumedades.es*. Obtenido de <https://antihumedades.es/blog/como-y-por-que-se-producen-las-humedades-por-condensacion/>
- Ariza, C. (2015). *sintesis de recubrimientos hibridos sol-gel ZrO₂ - SiO sobre alecciones de magnesio wexx para aplicaciones a elavada temperatura*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Arukalam, I., Oguzie, E., & Li, Y. (2016). Fabrication of FDTs-modified PDMS-ZnO nanocomposite hydrophobic coating with anti-fouling capability for corrosion protection of Q235 steel. *Journal of Colloid an Interface Science*, 484., 220-228. doi:10.1016/j.jcis.2016.08.064
- Aspiazu, G. (11 de Enero de 2011). *Mente Errabunda*. Obtenido de <http://menterrabunda.blogspot.com/2011/01/nanotecnologia-seca-y-humeda.html>
- automatismos, m. (2020). *blog creado para ingenieros*. Obtenido de <https://automatismosmundo.com/que-es-el-software-fritzing/>
- autor, R. p. (s.f.).
- Bajenescu, T. (2020). Los conectores eléctricos en el mundo digitalizado. *EEA - Electrotehnica, Electronica, Automatica*, 37-43.

- Bedoya, J., Cinca, J., & Guilemany, M. (2013). Recubrimientos micro/nanoestructurados de aleaciones ligeras mediante proyección fría para la protección y reparación de componentes de elevado valor añadido. *Revista de Metalurgia*, 224-226.
- Bermúdez, Á., Castaño, G., & Echeverría, F. (2012). *Deterioro de Recubrimientos orgánicos principales modelos y métodos de cuatificación*. Barranquilla: Universidad del Norte. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85224945008>
- Bin Achoi , M., Nor , A., Abdullah, S., & Mahmood, M. (2011). An effect of layer on surface morphology TiO₂ nanocoating deposited on mild steel surface. *AIP Publishing*, 1-6. doi:10.1063/1.3586959
- Binsabt, M., Nazeer, A. A., Madkour, M., & Al-Sagheer, F. (2016). Hydrothermally modified PVA/ZnS-NCQD nanocoating for stainless steel corrosion protection in saline water. *RSC Advances*, 6888-6895. doi:10.1039/c5ra26581a
- Bratu, N., & Campero., E. (2006). *Instalaciones Electricas*. Mexico: Alfaomega. Obtenido de https://www.academia.edu/32192513/Instalaciones_Electricas_Bratu_2ed
- Calle, G. (2021). NANOTECNOLOGIA CONCEPTOS GENERALES. *Revista de Información, Tecnología y Sociedad*, 5. Recuperado el 10 de Julio de 2021, de http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S1997-40442010000200002&script=sci_arttext&tlng=es
- Callister, W. (1996). *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. II*. Barcelona: Reverte.
- Cameleco. (13 de Mayo de 2017). Aisladores de porcelana y polímeros para redes eléctricas. Bogotá, Santa fé, Colombia.
- Campos, D. (2014). Dióxido de silicio pararecubrimientos nanoestructurados. *Nano Ciencia y Tecnología*, 41-45.
- Cazco, P. (2002). *Determinación de la corrosión Atmosférica en la ciudad de Quito*. Quito. CENEL.EP. (2017). *Especificaciones técnicas del proyecto "Construcción de Alimentadora a 13,8 kV parque California #4"*. Guayaquil: Dirección de Distribución. Obtenido de <https://www.cnelep.gob.ec/wp-content/uploads/2017/04/MEMORIA-TECNICA-ALIMENTADORA-PARQUE-CALIFORNIA-4.pdf>
- Chapman, S. (2012). *Maquinas Elèctricas*. Mèxico: Mc Graw Hill. Obtenido de https://www.academia.edu/36699966/M%C3%A1quinas_El%C3%A9ctricas_5ta_Edici%C3%B3n_Stephen_J_Chapman_FREELIBROS_ORG

- Clau. (09 de Mayo de 2020). *CORROSIÓN*. Obtenido de CORROSIÓN :
<file:///C:/Users/sttefy/9NO%20SEMESTRE/TRABAJO%20DE%20GRADO1-INVESTIGACION%20C3%93N/CORROSION2020.pdf>
- Cobado, L. (2018). Aplicación de anorecubrimientos hidrófobicos sobre cartón. *Teinova*, 18-20.
- Condumex. (Junio de 2009). *Manual técnico de instalaciones eléctricas*. Obtenido de Manual técnico de instalaciones eléctricas:
<https://www.uv.mx/personal/jdominguez/files/2012/10/Manual-de-Instalaciones-Elctricas-en-BT-2009.pdf>
- Contreras, G., Barrera, C., Remolina, É., Hernandez, C., Liu, Z., Coy, A., & Viejo, F. (2015). Síntesis y evaluación de recubrimientos híbridos sol-gel base TEOS: GPTMS:APTES para la protección contra la corrosión de la aleación AA2124-T4 y su material compuesto. *Latinoamerica d Metalurgia y Materiales*, 2.
- Cueva, E. (2007). *Corrosión y degradación de los metales*. Quito: Universidad Politecnica Nacional.
- Cui, L. Y., Wei, G. B., Zeng, R. C., Li, S. Q., Zou, Y. H., & Han, E. H. (2018). Corrosion resistance of a novel SnO₂-doped dicalcium phosphate coating on AZ31 magnesium alloy. *Bioactive Materials*, 245-249. doi:10.1016/j.bioactmat.2017.11.001
- Customair. (22 de Febrero de 2019). *Customair*. Obtenido de La corrosión, un problema que puede causar pérdidas millonarias a los países: <https://customair.mx/blog/GCtTGTzc2w-la-corrosion-un-problema-que-puede-causar-perdidas-millonarias-a-los-paises>
- De Miguel, R. (06 de Marzo de 2021). *El país*. Obtenido de https://elpais.com/elpais/2021/03/03/escaparate/1614775803_647170.html
- Deshumificador. (12 de Julio de 2014). *H2O TK*. Obtenido de <https://h2otek.com/blog/la-humedad-provoca-danos-en-las-instalaciones-electricas/>
- Dolatzadeh, F., Moradian, S., & Jalili, M. (2011). nfluence of various surface treated silica nanoparticles on the electrochemical properties of SiO₂/polyurethane nanocoatings. *Corrosion Science*, 53(12), 4248-4257. doi:10.1016/j.corsci.2011.08.036
- Electronics, M. (2017). *Electronics, Mantech*;. Obtenido de <http://www.mantech.co.za/datasheets/products/lcd2004-i2c.pdf>
- Electronics, U. (2022). *Electronics, Unit*;. Obtenido de <https://uelectronics.com/producto/modulo-relevador-5v-ky-019/>

- Elsevier B. V. (05 de Abril de 2022). *Scopus*. Obtenido de Scopus:
https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/15534/supporthub/scopus/#:~:text=Scopus%20offers%20free%20features%20to,content%20coverage%20and%20source%20metrics.
- Eneka. (2014). *Eneka*. Obtenido de <https://www.eneka.com.uy/robotica/modulos-comunicacion/m%C3%B3dulo-interfaz-serail-i2c-detail.html>
- Escuela Politécnica Nacional. (2016). *Corrosión y degradación de los metales*. Quito.
- ESSS. (05 de Abril de 2022). ANSYS. Obtenido de ANSYS: https://www.esss.co/es/ansys-simulacion-computacional/?gclid=Cj0KCQjwyMiTBhDKARIsAAJ-9Vs4afK9JW6JKVIEjEefj1d4Qow2Cvibz79zWRyw5qIOr4y0KBDLfYMaAueYEALw_wcB
- Euroquímica. (31 de Agosto de 2018). *Protective & Industrial Paints*. Obtenido de <https://euroquimica.com/tipos-de-pintura-industrial/>
- Farina, L. (2019). Tableros Eléctricos. *Suplemento Instaladores*, 64-65. Obtenido de https://www.editores-srl.com.ar/revistas/ie/341/si_farina_tableros_electricos_riei_90364
- Fernández, J. (1984). *Teoría y práctica de la lucha contra la corrosión*. España: GRAFIMAD.
- FRRQ, U. . (2010). Herramientas para la nanofabricación . *Introduction to Nanoscale Science and Technology*, 1-12.
- Fucheng, L., & Hongkui, L. (2016). Análisis de fallas y optimización de la estructura de bujes de pared de 40,5 kV. *Actas de la 5a Conferencia Internacional IEEE sobre desregulación, reestructuración y tecnologías de energía de las empresas de servicios eléctricos*, (págs. 1628-1631). Changsha.
- Galvalnorte. (2003). *GAVALNORTE*. Obtenido de <https://galvanorte.ec/>
- Galvanorte. (2003). *GAVALNORTE*. Obtenido de <https://galvanorte.ec/>
- Gedisa. (2011). *Manual de líneas de transmisión y distribución de la energía eléctrica*. Obtenido de http://gedisa.com.ve/recientes_aun/catalogos/electricos/libreria_herrajes/libreria/30%20CAP%203%20SEC%2021%20PERNO%20DE%20OJO%20GEDline%202011.pdf
- Geonaga, I. (19 de Abril de 2019). *Controlar la humedad en las subestaciones eléctricas*. Obtenido de <https://www.interempresas.net/Energia/Articulos/214989-Controlar-la-humedad-en-las-subestaciones-electricas.html>
- Ghazzal, M., Wojcieszak, R., Raj, G., & Gaigneaux, E. (2014). Study of mesoporous CdS-quantum-dot-sensitizedTiO₂ films by using X-ray photoelectronspectroscopy and AFM. *Beilstein Journal Nanotechnology.*, 68-76. doi:10.3762/bjnano.5.6

- Ghomi, E. R., Khorasani, S. N., Kichi, M. K., Dinari, M., Ataei, S., Enayati, M. H., . . . Neisiany, R. E. (2020). Synthesis and characterization of TiO₂/acrylic acid-co-2-acrylamido-2-methyl propane sulfonic acid nanogel composite and investigation its self-healing performance in the epoxy coatings. *Colloid and Polimer Science*, 1-11.
doi:10.1007/s00396-019-04597-0
- Ghosal, A., & Ahmad, S. (2017). High performance anti-corrosive epoxy-titania hybrid nanocomposite coatings. *New Journal of Chemistry*, 4599-4610.
doi:10.1039/c6nj03906e
- Giles, G. (24 de Mayo de 2017). *Construction Canada*. Obtenido de Underlying Considerations for Overcoating: Lessons learned for metal building façades:
<https://www.constructioncanada.net/underlying-considerations-for-overcoating-lessons-learned-for-metal-building-facades/4/>
- Gomes, V. (22 de Julio de 2016). *Inovacion y Ciencia*. Obtenido de
https://innovacionyciencia.com/documentos/nanoparticulas_metalicas_y_sus_aplicaciones.pdf
- Gómez, E. (2018). *Fabricación y Caracterización de recubrimientos nanoestructurados transparentes superhídrofóbicos y autolimpiables para aplicaciones en energía renovables y en la industria automotriz*. México: Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutierrez.
- Gómez, F., & Alcaraz, D. (2004). *Manual básico de corrosión para ingenieros*. Murcia: EDITUM.
- Gómez, G. (2013). Nanoparticulas de plata: tecnología para obtención, caracterización y actividad biológica. *medigraphic*, pp 18-22.
- González, J. (1984). *Teoría y práctica de la lucha contra la corrosión*. Madrid: CSIC Press.
- González, F., Zarzuela, E., & Lama, J. (2011). *Nanotecnología y Nanoquímica*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Guilcaso, C. (2021). Influencia del recubrimiento de cromato de zinc en la corrosión de los aceros ASTM A-500 y A-500 galvanizado expuestos en una cámara de niebla salina. *INGENIUS*, 3-15.
- Gutierrez, M. (2016). *Recubrimientos multicapas de tipo orgánico/metal/cerámica para espejos solares de base polimérica flexible*.
- Guzmán, J., Gómez, M., & Calderón, J. (2009). Depósito electroquímico de recubrimientos compuestos de Ni-SiC y evaluación de su comportamiento anticorrosivo. *Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 2-8.

- Hernández, L. (2022). *Programa Facil*. Obtenido de <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/texto-en-movimiento-en-un-lcd-con-arduino/>
- Hernandez, M. (2013). *Síntesis de recubrimientos poliméricos Inteligentes*. Mexico: Universidad Autónoma de México.
- Hidayanti, F. (2020). Diseño de Seguridad para Motos. *Revista internacional de ciencia y tecnología avanzadas*, 4375-4376. Obtenido de https://www.academia.edu/44076674/Design_of_Motorcycle_Security_System_with_Fingerprint_Sensor_using_Arduino_Uno_Microcontroller?from=cover_page
- Hu, S., Shaner, M., Beardslee, J., Lichterman, M., Brunschwig, B., & Lewis, N. (2014). Amorphous TiO₂ coatings stabilize Si, GaAs, and GaP photoanodes for efficient water oxidation. *10.1126/science.1251428*, 2-6. doi:10.1126/science.1251428
- Hulse, P. (07 de Noviembre de 2019). *Los recubrimientos electrolíticos se encuentran con los lamelares*. Obtenido de <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/258550-Los-recubrimientos-electroliticos-se-encuentran-con-los-lamelares.html>
- Industrial, I. (26 de Noviembre de 2018). *ICSA Industrial*. Obtenido de <http://icsaindustrial.es/que-son-y-para-que-se-usan-los-recubrimientos-electroliticos/>
- Infocorrosión. (3 de Octubre de 2019). <https://infocorrosion.com/>. Obtenido de <https://infocorrosion.com/index.php/capacitacion/palabra-del-dia/item/1139-nanotecnologia-en-recubrimientos>
- ISO 12944. (2018). *Normativa anticorrosión*. Obtenido de Barprimo: <https://issuu.com/barpimo/docs/iso-12944-2018>
- itma, F., Oviedo, U. d., & INCAR. (2014). *idepa.es*. Obtenido de <https://www.idepa.es/documents/20147/163848/AplicacionesIndustriales.pdf/6c110c65-76ef-fdfb-15dd-38c072d6e2ee>
- J. B., M. S. (2017). Chitosan-doped-hybrid/TiO₂ nanocomposite based sol-gel coating for the corrosion resistance of aluminum metal in 3.5% NaCl medium. *International Journal of Biological Macromolecules*, 1730-1739. doi:10.1016/j.ijbiomac.2017.03.115
- Jaseela, P. K., Kuruvilla, M., Williams, L., Jacob, C., Shamsheera, K. O., & Joseph, A. (2020). Excellent protection of mild steel in sodium chloride solution for a substantial period of time using a hybrid nanocoating of poly vinyl alcohol and Titania. *Arabian Journal of Chemistry*, 1-10. doi:10.1016/j.arabjc.2020.07.005
- Kamburova, K., Boshkova, N., & Radeva, T. (2021). Composite coatings with polymeric modified ZnO nanoparticles and nanocontainers with inhibitor for corrosion protection of

- low carbon steel. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 1-7.
doi:10.1016/j.colsurfa.2020.125741
- Kang, T. H., Bagkar, N. C., Jung, Y. S., Chun, H. H., Shin, S. C., Cho, H., . . . Kim, T. G. (2014). Development of inorganic and organic hybrid nanocoating based on carbon nanotubes for corrosion resistance. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 7824-7829.
doi:10.1166/jnn.2014.9394
- Kappagavalli, R., Zhou, A., Chellamuthu, P., & Nguyen, K. (2009). Corrosion behavior and biocompatibility of nanostructured TiO₂ film on Ti6Al4V. *Journal of Biomedical Materials Research - Part A* 83(4), 1087-1095. doi:doi.org/10.1002/jbm.a.31447
- Kleotka, M., Zienlinska, K., Stankiewicz, A., & Kuciej, M. (2020). Tribological and anticorrosion performance of electroplated zinc based nanocomposite coatings. *Coatings*, 1-8.
doi:10.3390/COATINGS10060594
- Kumar, C. M., Lakshmikanthan, A., Chandrashekarappa, M. P., Pimenov, D. Y., & Giasin, K. (2021). Electrodeposition based preparation of zn–ni alloy and zn–ni–wc nano-composite coatings for corrosion-resistant applications. *Coatings*, 1-17.
doi:10.3390/coatings11060712
- Laboratories, G2MT. (s.f.). " Corrosion Will Cost the USA Economy over \$1 Trillion in 2015". *Oielfield Review*, 1-8.
- Li, H., Yu, S., Han, X., & Zhao, Y. (2016). A stable hierarchical superhydrophobic coating on pipeline steel surface with self-cleaning, anticorrosion, and anti-scaling properties. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 43-52.
doi:10.1016/j.colsurfa.2016.05.029
- Li, Q., Ge, W., Zhang, J., Yang, P., & An, M. (2015). Synergistic effects of passivation treatment and nano-electrodeposition technologies on corrosion protection performance of the electrogalvanized steel. *New Journal of Chemistry*, 9903-9909. doi:10.1039/c5nj02249e
- Lias, A. (4 de Octubre de 2005). *Centro de información y gestión tecnológica*. Obtenido de La corrosión producida por la humedad se produce debido al deterioro de una sustancia como suele ser el metal, por el motivo de interactuar con el medioambiente, además no se pueden presentar cambios visibles en el material, pero se puede presentar falla
- Liu, T. (2016). *All.datasheet.com*. Obtenido de <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1132459/ETC2/DHT22.html>
- Lora, F., Calderón, J., Bermúdez, A., Maya, J., Castaño, J., & Echeverría, F. (2010). *Análisis de los factores de mayor influencia en la evaluación del desempeño de recubrimientos orgánicos mediante ensayos acelerados y espectroscopia de impedancia*

- electroquímica*. Medellín: Universidad de Bagota. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47721610013>
- Ma, C., Zhao, D., & Ma, Z. (2020). Effects of duty cycle and pulse frequency on microstructures and properties of electrodeposited Ni–Co–SiC nanocoatings. *Ceramics International*, 1-10. doi:10.1016/j.ceramint.2020.01.258
- MAC. (2022). MAC.SA. Obtenido de <https://macrepresentaciones.com/producto/tuerca-de-ojo/>
- Maeztu J.D., R. P., Maeztu, J. D., Rivero, P. J., Berlanga, C., Bastidas, D. M., Palacio, J. F., & Rodriguez, R. (2017). Effect of graphene oxide and fluorinated polymeric chains incorporated in a multilayered sol-gel nanocoating for the design of corrosion resistant and hydrophobic surfaces. *Applied Surface Science*, 138-149. doi:10.1016/j.apsusc.2017.05.043
- Manriquez, J. (2014). *Preparación de fotoánodos para la construcción de celdas solares Grätzel empleando placas de Ti grado industrial recubiertas con nanotubos de TiO₂, tintes de tipo bipiridina-rutenio y dendrímeros de poliamidoamina*. México: Centro de investigación y desarrollo tecnológico de electroquímica.
- Marín, E. (2021). Analisis de flameo de aisladores parte 1. *researchgate.net*, 1-2. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/354035235_Analisis_de_flameo_en_aisladore_s_parte_1?fbclid=IwAR0o5J5PwuWV8in2AZ1ryZGi_NFmnr9SGvmRgmEveAUuRupx4jKDh0QDIM4
- Martinez , C. (21 de Abril de 2015). *Estudios de los efectos producidos por la variación de la concentración de oxígeno en la corrosión por picadura en una tubería de acero de agua de consumo humano enterrado utilizando el programa Oxipis_12*. Obtenido de UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA: <https://core.ac.uk/download/pdf/60432418.pdf>
- Martínez, M. (2022). *Electronica Steren*. Obtenido de <https://www.steren.com.mx/display-lcd-2x16.html>
- Maryam, M., Ibrahim, N. M., Eswar, K. A., Guliling, M., Suhaimi, M. H., Khusaimi , Z., . . . Rusop , M. (2018). The optimization of CNT-PVA nanocomposite for mild steel coating: Effect of CNTs concentration on the corrosion rate of mild steel. *American Institute of Physics*, 1-7. doi:10.1063/1.5036870
- Maxim, I. (2008). *Maxim, Integrate;*. Obtenido de <https://datasheet.octopart.com/DS18B20-Maxim-Integrated-datasheet-34182709.pdf>

- Maya, J. (24 de Enero de 2021). *INPRA LATINA*. Obtenido de <https://www.zonadepinturas.com/201105242112/articulos/proteccion-de-superficies-y-control-de-corrosion/manejo-de-corrosion-en-lineas-de-energia.html>
- MEDIAActive. (2010). *Manual de Excel 2010*. Barcelona: MARCOMBO, S.A. Obtenido de Manual de Excel 2010.
- Medina, E., Galvan, R., & Reyes, G. (2015). Las nanopartículas y el medio ambiente. *Scielo*, 74. Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212015000100005
- Mendoza, E., & García, C. (2007). Recubrimientos por sol-gel sobre sustratos de acero inoxidable, revisión del estado del artículo. *scielo.org*, 101-110.
- Mercedes. (29 de Enero de 2018). *TESIS*. Obtenido de Corrosión y Degradación de los Metales: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2771/1/CD-0553.pdf>
- Minelli, C. (2004). *Enfoques inferiores para organizar las nanopartículas con polímeros*. Lausanne: Escuela Politécnica Federal de lausane.
- Molina, J., Villada, F., & Mesa, N. (2011). La corrosión atmosférica en sistemas de transporte de energía eléctrica: modelo de vida útil y su remuneración en Colombia. *Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 257-266.
- Molina, Juan; Villada, Fernando. (2011). La corrosión atmosférica en sistemas de transporte de energía eléctrica: modelo de vida útil. *Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 257-266.
- Montesinos, R., Romero, N., Pliego, L., & Vazquez, F. (2010). Desarrollo de nanopartículas para la reducción de compuestos orgánicos volátiles. *VII Congreso Internacional sobre Innovación y Desarrollo Tecnológico* (págs. 2-4). Cuernavaca Morelos: CIINDET 2010.
- Mora, S. (2020). *Monografía para obtención del título de especialista en gestión de la integridad y corrosión*. Bogotá: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Obtenido de <https://docplayer.es/209834169-Recubrimientos-anticorrosivos-superhidrofobicos-en-oleoductos-y-gasoductos-marinos.html>
- Morales, F. (2015). *Nanopartículas Metálicas en nanotubos de carbono*. Granada: Universidad de Granada. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=57668>
- MURPROTEC. (4 de Septiembre de 2012). *MURPROTEC*. Obtenido de https://www.murprotec.es/blog/la-humedad-estructural-aumenta-el-riesgo-de-accidentes-en-la-vivienda/?fbclid=IwAR0LWJsrYptizr4u79yFspKS_8toVKvX0qPIFr2ITtIzeSho1fqihSnr5Tc

- Nik Masdek, N. R., Salleh, Z., Md Taib, Y., Che Murad, M., & Zulfarizan, Z. (2019). Corrosion investigation of electrodeposited cobalt-nickel-iron (CoNiFe) fasteners with the different deposition time. *Materials Today: Proceedings*, 1919-1928.
doi:10.1016/j.matpr.2019.06.069
- NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCIÓN. (2013). *Capítulo 15 "Instalaciones Electromecánicas"*. Quito: Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción.
- Ortiz, E., Gonzales, J., & Vladez, M. (2019). Material compositi con propiedades superhidrofobicas resistentes a la corrosion a partir de particulas de caolín y polímeros reciclados. *Padi, Index*, 93-97.
- OSA. (2020). *americanos, Organización de los estados y Climatología*. Obtenido de <https://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea32s/ch13.htm>
- Palacio, L. (2004). Métodos de síntesis de nuevos materiales basados en metales de transición. *Facultad de Ingeniería Univerisdad de Antioquia* , 51-61.
- Palacios, L. (2004). Métodos de síntesis de nuevos materiales basados en metales de transición. *Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 51-61.
- Pathak, S. S., & Khanna, A. S. (2012). Sol-gel nanocoatings for corrosion protection. *Frontiers in Materials*, 1-6. doi:10.1016/B978-1-84569-949-9.50012-5
- Patiño , D. (05 de Octubre de 2016). *CienciaMx*. Obtenido de <http://www.cienciamx.com/index.php/tecnologia/materiales/10418-nanotecnologia-contra-la-corrosion-de-materiales>
- Patiño, D. (5 de Octubre de 2016). *cienciamxNoticias*. Obtenido de <http://www.cienciamx.com/index.php/tecnologia/materiales/10418-nanotecnologia-contra-la-corrosion-de-materiales>
- Pellegrotti, V. (2015). *Manipulacion de fluorescencia molecular mediante nanoparticulas metalicas*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires. Obtenido de https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/collection/tesis/document/tesis_n5809_Pellegrotti
- Peña, J., Useche, J., Pagnola, M., Algoberro, R., & Bauer, J. (2021). Fabricación de sensores de grafeno para mediciones de esfuerzo fuerza en unidades mecatrónicas robóticas. *ResearchGate*, 1-14. Recuperado el 01 de Mayo de 2022, de <file:///D:/User/Descargas/Proyeccionesabril2021PeaConsuegraFabricacindesensoresdegrafenoparamedicionesdeesfuerzofuerzaenunidadesmecatrnicasroboticas1.pdf>

- Pereira, M. (2017). *Metodos de dispersion y funcionalización de nanoparticulas a base de carbono*. Porto: Universidad de porton. Obtenido de https://sigarra.up.pt/fep/en/pub_geral.show_file?pi_doc_id=107746
- Pèrez, S., & Lòpez, J. (2018). *Transformadores Elèctricos*. Pereira: Universidad Tecnològica de Pereira. Obtenido de <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/3543f8f6-867d-4e8d-bb72-9aa1ddf9f1db/content>
- Pertella, A. (2016). *CITE Energia*. Obtenido de http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2016/09/Ing.-Alonso-Portella-Retuerto_compressed.pdf?fbclid=IwAR03jChFMFMjS9NW7StFR0kqswFeoALWACzRQA6E11bEHFiVlpBjbeCPH0E
- Pilar, G., Gilabert, J., & Sanz, V. (2014). *Resistencia al desgaste de recubrimientos organicos con cargas nanométricos*. Catellon: Asociacion de Investigación de industrias ceramicas.
- Pipiraite. (2016). *HUMEDADES EN EDIFICACIÓN. ESTUDIO DESDE SU ORIGEN HASTA LA ACTUALIDAD, Y APLICACIONES*. Universidad Politecnica de Valencia, Valencia. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/110842/Pipiraite%20-%20CSA-F0108%20HUMEDADES%20EN%20EDIFICACI%C3%93N.%20ESTUDIO%20DESDE%20SU%20ORIGEN%20HASTA%20LA%20ACTUALIDAD%2C%20Y%20AP....pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR2s0QErdJ8gkhCoRMh6yeWxhxXIbsl>
- Plastex. (2015). *Plastex.S.A*. Obtenido de <https://www.plastex.com.ec/wp-content/uploads/2020/07/FICHA-COOLER-9.pdf>
- Polo, M. (2013). *Sintesis de nanopartículas de plata biológicamente asistida con opuntia*. Satillo: Centro de investigación en química aplicada. Obtenido de <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/64>
- Preira, M., Rodríguez, R., Gutierrez, D., & Lòpez, V. (2008). Desarrollo de un fosfato silicoaluminoso, Metodos de síntesis . *Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 91-98.
- Rabizadeh , T., & Yeganeh, M. (2011). Influence of TiC nanoparticles on microstructures and properties of electrodeposited Ni-P coatings. *Micro & Nano Letters*, 1-4. doi:10.1049/mnl.2011.0366
- Racz, A. S., & Menyhard, M. (2018). Design of Corrosion Resistive SiC Nanolayers. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 22851-22856. doi:10.1021/acsami.8b06425

- Ramalingam, S., Balakrishnan, K., Shanmugasamy, S., & Subramania, A. (2017). Electrodeposition and characterisation of Cu–MWCNTs nanocomposite coatings. *Surface Engineering*, 369-374. doi:10.1080/02670844.2016.1258164
- Ramalingam, S., Muralidharan, V., & Subramania, A. (2009). Electrodeposition and characterization of Cu-TiO₂ nanocomposite coatings. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 13(11), 1777-1783. doi:10.1007/s10008-009-0870-x
- Ramírez, D. (2017). *Síntesis por sol-gel de un recubrimiento nanoestructurado de TiO₂ para ser aplicado en sustrato de vidrio*. Bogotá: Universidad de Bogotá .
- Rico , Y., Carrasquero, E., & Minchala, J. (2019). Evaluación de propiedades mecánicas en recubrimientos galvanizados por doble inmersión en caliente sobre acero al carbono. *Ingenius*, 2-10.
- RIVER, C. (2019). Corrosión en los sistemas de transformación y distribución eléctrica. *CARON/ RIVER*, 1-2.
- Rodríguez C., Vasilievna O. (2008). *Propiedades y Aplicaciones del grafeno*. México: UANL.
- Rodriguez, M., & Campos, D. (2007). Metodo de síntesis y caracterización de un material del tipo fosfatosilicoaluminoso. *ResearchGate*, 211-212.
- Rodriguez, T. (2004). *Formulación y evaluación de imprimaciones epoxis anticorrosivas curables a temperatura ambiente*. Catelló: Universitat Jaume I.
- Rosas, J. (2019). *Síntesis y caracterización de zinc dopado de cromo(ZnGa₂O₄:Cr³⁺) recubierto con sílice para su posible aplicación en areas medicas*. California: Universidad Autónoma de Baja California.
- Rubio , M. (12 de Mayo de 2018). *SlidePlayer*. Obtenido de Recubrimientos no Metálicos Inorgánicos: <https://slideplayer.es/slide/13610570/>
- Ruiz, E., & Giraldo, L. (2016). Nanometrología: Impacto en los sistemas de producción. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 49-72. doi:10.18359/rcin.1771
- Salazar, J. (2015). Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales (Nota técnica). *Tecnología en Marcha*, 127-136.
- Sandoval, M., & Escamina, N. (29 de Octubre de 2020). *contexto.udlap*. Obtenido de contexto.udlap: <https://contexto.udlap.mx/wp-content/uploads/2020/11/Nanopinturas.docx.pdf>
- Sandra, M. (2018). Nanociencia y nanotecnología en carreras de ingeniería. *Educación en Ingeniería*, 117-122.

- Senner, A. (1994). *Principios de electrotecnia*. Barcelona: Reverte. Obtenido de <https://books.google.es/books?id=PW7jBPNU8hwC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Shao, W., Nabb, D., Renevier, N., Sherrington, I., & Luo, J. K. (2012). Mechanical and corrosion resistance properties of TiO₂ nanoparticles reinforced Ni coating by electrodeposition. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1-6. doi:10.1088/1757-899X/40/1/012043
- Shiyin, Q., & Bo, H. (2011). Un enfoque de detección de fallas efectivo para equipos eléctricos del sistema de propulsión en un tipo de embarcación basado en el principio bayesiano subjetivo. *La seguridad es lo primero, la confiabilidad es lo más importante: Actas de la Novena Conferencia Internacional de 2011 sobre Confiabilidad, Mantenibilidad y Seguridad*, (págs. 970-974). Guiyang.
- Si, Y., & Guo, Z. (2015). Superhydrophobic nanocoatings: From materials to fabrications and to applications. *Nanoscale*, 7(14), 5922-5946. doi:10.1039/c4nr07554d
- Sinoenergy Group. (12 de Junio de 2020). *Sinoenergy*. Obtenido de Tamaño de pequeña partícula nano lipofílico del dióxido de silicio 30nm para la resina: <http://spanish.puresilicapowder.com/sale-12751641-30nm-lipophilic-nano-silicon-dioxide-small-particle-size-for-resin.html>
- SOLIDBI. (05 de Abril de 2022). *SOLIDWORKS*. Obtenido de Qué es y para qué sirve: <https://solidbi.es/solidworks/#:~:text=Definici%C3%B3n,proceso%20de%20desarrollo%20del%20producto.>
- Sundararajan, T., Kuroda, S., Kawakita, J., & Seal, S. (2006). High temperature corrosion of nanocería coated 9Cr-1Mo ferritic steel in air and steam. *Surface and Coatings Technology*, 2124-21-30. doi:10.1016/j.surfcoat.2006.02.007
- Tamez, F. (23 de Mayo de 2016). *METELMEX*. Obtenido de Cómo proteger Acero de la Corrosión en 5 minutos: <https://www.metelmex.com/es/como-proteger-acero-de-la-corrosion-en-5-minutos/>
- Telegdi, J., Rigó, T., & Kálmán, E. (2005). Molecular layers of hydroxamic acids in copper corrosion inhibition. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 191-201. doi:10.1016/j.jelechem.2005.03.045
- Terrell Croft, John H. Watt, Clifford L. Carr. (1994). *Manual del montador electricista: el libro de consulta del electrotécnico*. Barcelona: Reverté, S.A. Obtenido de

- <https://books.google.com.co/books?id=88mnjgEACAAJ&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>
- Topsakal, M., Aahin, H., & Ciraci, S. (2012). Graphene coatings: An efficient protection from oxidation. *Physical Review B*. doi:10.1103/PhysRevB.85.155445
- Transelec. (2013). *Transelec*. Obtenido de <https://www.transelec.com.ar/soporte/18436/-que-instrumentos-se-utilizan-para-la-medicion-electrica/>
- Tucheng, D. (2019). *TCIinsulator.com*. Obtenido de <https://es.tciinsulator.com/home/index>
- ULPGC. (12 de Enero de 2019). *PROCESOS DE IMPACTOS SOBRE LOS MATERIALES: LA CORROSIÓN*. Obtenido de PROCESOS DE IMPACTOS SOBRE LOS MATERIALES: LA CORROSIÓN: <https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/27/27000/leccion2.pdf>
- UNAM, F. (15 de Diciembre de 2020). *Fundación UNAM*. Obtenido de <https://www.fundacionunam.org.mx/unam-al-dia/la-unam-te-explica-que-son-las-nanoparticulas/#:~:text=Una%20nanopartícula%20ser%C3%ADa%20entonces%20%E2%80%9Cuna,de%20Qu%C3%ADmica%20de%20la%20UNAM>.
- Universidad Politécnica de València. (2016). *TOC_0785_04_01.pdf*. Obtenido de Corrosión: https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/847ed998-8ebe0-4f44-a785-e18a1defb128/TOC_0785_04_01.pdf?guest=true#:~:text=Corrosi%C3%B3n%20por%20aireaci%C3%B3n%20diferencial,hecho%20de%20estar%20se%2D%20mienterrada.
- Valencia, U. d. (12 de Enero de 2020). *Fenómenos de Superficie*. Obtenido de https://www.uv.es/tunon/QFIII/Nuevo_Tema_4.pdf
- Vargas , V. (2021). *Impacto de los recubrimientos como alternativa de solución a la corrosión en los sistemas de transporte en la industria de hidrocarburos*. Colombia : RIUPTC.
- Vasquez, J. (03 de Mayo de 2014). *Corrosion por Cavitation*. Obtenido de slideshare: <https://es.slideshare.net/JhonatanVasquezBenav/corrosion-por-cavitation>
- Vazquez, M. (3 de Febrero de 2018). *La corrosión (El peor de los villanos cuando dominan los metales)*. Mar del Plata: EUDEM. Obtenido de La corrosión (El peor de los villanos cuando dominan los metales).
- Villalba, L., López, P., Alvarez, M., & Fort, R. (2010). Comportamiento cristalino de las nanoparticulas de portlandita (Ca(OH)₂) en condiciones de alta humedad relativa. *Sociedad española de minerología*, p 103-104.
- Villora, M., Callejas, P., & Barba, F. (2002). Metodos de síntesis y comportamiento térmico del Hidroxiapatito. *Boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio*, 445- 446.

- Vinueza , P. (09 de Enero de 2009). *Determinación de la Corrosividad en la ciudad de Esmeralda*. Obtenido de Determinación de la Corrosividad en la ciudad de Esmeralda: <file:///C:/usuario%20stefy/Documents/CD-1957.pdf>
- Vishay. (01 de Enero de 2022). *Vishay*. Obtenido de <https://www.vishay.com/docs/37299/37299.pdf>
- Vosviewer. (12 de Enero de 2022). *Vosviewer*. Obtenido de Vosviewer: <http://www.vosviewer.com>
- Wang , H., Sun, F., Wang, C., Zhu, Y., & Wang, H. (2016). A simple drop-casting approach to fabricate the super-hydrophobic PMMA-PSF-CNFs composite coating with heat-, wear- and corrosion-resistant properties. *Colloid and Polymer Science*, 303-309. doi:10.1007/s00396-015-3772-8
- Wang , P., Yao, T., Sun, B., Fan, X., Dong, S., Bai, Y., & Shi, Y. (2017). A cost-effective method for preparing mechanically stable anti-corrosive superhydrophobic coating based on electrochemically exfoliated graphene. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 396-401. doi:10.1016/j.colsurfa.2016.11.002
- Xia, F., Jia, W., Jiang, M., Cui, W., & Wang, J. (2017). Microstructure and corrosion properties of Ni-TiN nanocoatings prepared by jet pulse electrodeposition. *Ceramics International*, 14623-14628.
- Xia, F., Li, Q., Ma, C., & Guo, X. (2020). Preparation and characterization of Ni–AlN nanocoatings deposited by magnetic field assisted electrodeposition technique. *Ceramics International*, 1-10. doi:10.1016/j.ceramint.2019.09.244
- Xuntao, S., Qingpai, K., jinyong, L., & Zhiyong, Y. (2020). Análisis de fallas por corrosión de equipos eléctricos en sistemas de distribución de energía en ambientes de alta temperatura y alta humedad. *International Conference on Electronic, Electrical and Computer Applications, ICEECA 2020*, (pág. 012204). Osaka.
- YAMPU. (24 de Abril de 2005). *YAMPU*. Obtenido de La tuerca de ojo se encarga de sujetar los aisladores de suspensión, esto gracias a la perforación roscada en el centro de la tuerca además tiene una argolla lo que permite el agarre de tornillos para integrar un elemento de la red de distribución eléctrica
- Ye, C., Zhu, Y., Sun, H., Chen, F., Sun, H., Dai, W., . . . Yu, J. (2020). Layer-by-layer stacked graphene nanocoatings by Marangoni self-assembly for corrosion protection of stainless steel. *Chinese Chemical Letters*, 1-5. doi:10.1016/j.ccllet.2020.03.013

- Yeung, F., & Chan, Y. (1994). Fallo eléctrico de los condensadores cerámicos multicapa causado por un entorno de alta temperatura y alta humedad. *Actas de la 44ª Conferencia de Tecnología y Componentes Electrónicos del IEEE de 1994*; (págs. 847-853). Washington.
- Yu, Q., Zeng, Z., Zhao, W., Li, M., Wu, X., & Xue, Q. (2013). Fabrication of adhesive superhydrophobic Ni-Cu-P alloy coatings with high mechanical strength by one step electrodeposition. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 1-6. doi:10.1016/j.colsurfa.2013.02.067
- Yuhazri, M., Jennise, T., Kamarul, A., Edeerozey, A., & Hussein, N. (2018). Estudio preliminar sobre la absorción de agua y el hinchamiento para madera de caucho simple y alveolar. *Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 173-182.
- Zanella, R. (2014). Metodología para a síntesis de nanopartículas: controlando forma y tamaño. *Mundo Nano*, p 6-7.
- Zerebidaki, A., & Allahkaram, S. R. (2012). Effect of heat treatment on the properties of electroless Ni-P-carbon nanotube composite coatings. *Micro & Nano Letters*, 1-5. doi:10.1049/mnl.2011.0482
- Zhang, Z., Ge, B., Men, X., & Li, Y. (2016). Mechanically durable, superhydrophobic coatings prepared by dual-layer method for anti-corrosion and self-cleaning. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 490., 182-188. doi:10.1016/j.colsurfa.2015.11.049
- Zhengzhou. (2011). *orientaisladores*. Obtenido de <https://www.orientaisladores.com/aisladores-de-porcelana/aislador-tipo-carrete.html>

ANEXOS

ANEXO A: ELEMENTOS COMPONENTES DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

ELEMENTO	TIPO	DESCRIPCIÓN
ESTRUCTURAS	Concreto	Según la Norma INEN 1965-1 los postes de hormigón deben tener una longitud de 12m y la relación entre la carga nominal de rotura horizontal (P_{nr}) = 500 kgf con un peso de 1100 kg. Su forma es circular concéntrica, además se emplea como apoyo de líneas de media y baja tensión, de telecomunicaciones y alumbrado público.
	Metálico	Según la Norma NFPA 780 E IEC 62305 los tubos de los postes metálicos son fabricados de acero galvanizado en caliente recubiertos en pintura, el espesor es de 4mm, se utiliza para alumbrado público en la panamericana y en parques.
	Cobre	Es el metal más empleado para la conducción eléctrica debido a su bajo costo, maleabilidad, resistencia a la corrosión es empleado para las puestas a tierra y redes subterráneas.
CONDUCTORES	Aluminio	El cable ACSR es un conductor empleado en líneas de transmisión y en la red de distribución eléctrica de tipo aéreas. (Catedra, 2020)
	Acero	Conductor tipo trenzado constituido por varios hilos en forma helicoidal presenta buenas propiedades mecánicas y se utilizan para la protección ante descargas eléctricas. (Catedra, 2020)
	Antifraude PE y PVC	Son cables para acometidas en redes de distribución aéreas llegando al contador del usuario y operan a 600V 75°C. (Llumiluisa & Tovar, 2011)
	Monopolar THWN:	Constituido por varios hilos de cobre con aislamiento PVC, empleado para la conexión de circuitos de fuerza y alumbrado y operan a 600V 75°C. (General Cable, 2016)
	Trenzado XLPE	Son conductores de redes aéreas de baja tensión colocados sobre postes y fachadas, tiene alma conductora de aluminio y opera a una temperatura de 90°C. (Llumiluisa & Tovar, 2011)

AISLADORES

Tipo suspensión de porcelana	Es un elemento aislante para suspensión de cables de la red eléctrica y se puede formar una cadena de aisladores de acuerdo con el nivel de tensión que opere la red. (CENEL.EP, Especificaciones técnicas del proyecto "Construcción de Alimentadora a 13,8 kV parque California #4", 2017)
Tipo tensor de porcelana	Es el soporte entre la estructura (poste) y el cable tensor que va enterrado en el suelo (CENEL.EP, Especificaciones técnicas del proyecto "Construcción de Alimentadora a 13,8 kV parque California #4", 2017).
Tipo pin de porcelana	Posee un orificio roscado para fijar con la cruceta en el poste, es utilizado en líneas pasantes de la red de distribución.
Tipo line post de porcelana	Se utilizan para aislar conductores en líneas aéreas en zonas con alta incidencia de descarga atmosférica. (Cameleco, 2017)
Tipo carrete de porcelana	Tiene las funciones de aislar y soportar las líneas de baja tensión.
Tipo polímero	Se emplea para suspensión de redes de media tensión, esto se debe a su resistencia mecánica desde 70 Kn hasta 120 Kn.
Bastidor Rack de una vía de acero galvanizado	Se usa como soporte del hilo guarda o neutro empleado como retención para líneas de baja tensión.
Abrazadera	Sujeta al bastidor Rack de una vía y el poste, sujeción entre el pie amigo y los polímeros tipo aislador de caucho siliconado y el poste.
Grapas de retención	Retienen la línea de preensamblado en baja tensión de la red eléctrica.

HERRAJES

Pernos	Se emplean para sujeción de las crucetas y retención de conductores el más empleado es el perno U de acero galvanizado y se utiliza como sujeción de la cruceta y el poste.
Arandelas	Permite fijar tuercas y pernos en los elementos montados en el poste de la red eléctrica, pueden ser de forma redonda, cuadrada y de presión. (Senner, 1994)

EQUIPOS

Tuerca de ojo	Sujeta los aisladores de suspensión gracias a la perforación roscada en el centro de la tuerca además tiene una argolla lo que permite el agarre de tornillos para integrar un elemento de la red de distribución eléctrica. (Croft & Cliffort, 1994)
Pie amigo de ángulo FE galvanizado	Su función es de nivelar y soporte de las crucetas
Cruceta	Soporta los conductores y aisladores de una línea de la red de distribución aérea, las crucetas de 1 metro sirven para poner seccionamientos de arranque y montaje de transformadores, la cruceta de 2 metros es utilizada como soporte de conductores de líneas trifásicas.
Seccionador	Es un dispositivo de seguridad que opera sin carga, además permite seccionar los tramos de un circuito de la red eléctrica mecánicamente, generalmente se realiza esta maniobra cuando es necesario dar un mantenimiento en equipos que presentan fallas, esto es posible aislando solamente la zona de falla para que el liniero trabaje con seguridad. (Rojas, 2005)
Switch	Establece e interrumpir circuitos eléctricos cuando exista sobreintensidades, cortocircuito y sobretensiones o bajas tensiones se desconectan por sí mismo cuando detectan anomalías en el circuito. (Ramirez, 2004)
Fusible	Desconectan el circuito si la corriente que circula es superior a la nominal en la desconexión el fusible tiende a fundirse, son instalados para la protección de transformadores en redes de distribución aéreas de media tensión. (Montané, 1993)

Pararrayo Es una barra metálica colocada en los postes y sujetadas con crucetas y conectados a un apartarrayos, se instalan por lo menos a 1 m de la estructura y se deben instalar a una distancia máxima de 20 metros. (Pérez A. , 2020)

Apartarrayos Se encarga de filtrar los sobre voltajes transitorios que se producen en la red de distribución eléctrica, se ubican en el transformador y desvían una descarga atmosférica hacia tierra. (Pérez A. , 2020)

Transformador Son máquinas que conforman la última etapa de distribución de energía, es donde se reduce el voltaje a niveles admisibles 110-220V para ser aprovechados por el usuario, son montados en los postes de concreto, las capacidades más ocupadas están entre: 10, 15 y 25 KVA. (ECUATRAN, 2016)

Lámpara de alumbrado público Es un dispositivo que emite radiación luminosa, la potencia que entrega es de 100W a 110V y conforma el circuito de alimentación. (SENER, 2010)

ALUMBRADO

Fotocélula Actúa como un contactor para encender un circuito de lámparas, se asemeja a un breaker activándose con la oscuridad de la noche y desactivándose con la claridad del día.

Puesta a tierra Es un sistema que desvía las sobretensiones del circuito hacia tierra, estas fluctuaciones se originan por la descarga directa de un rayo o avería en la línea, de tal manera que proteja a los equipos conectados al circuito y garantiza seguridad a las personas, se conforma por la barrilla de cobre coperweld, conectores y la suelda exotérmica. (Pérez G. , 2013)

Retenida Tensa los postes para evitar alguna deformación en la estructura, está constituido por el cable preformado, cable de acero galvanizado, varilla, bloque y guardacabo de acero galvanizado.

ANEXO B: COSTO POR CAMBIO DE ALIMENTADOR EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

Costos de los elementos componentes de la red de distribución eléctrica

EMPRESA ELECTRICA REGIONAL NORTE S.A.

ELECTRIFICACIÓN DE LA COMUNIDAD TARABITA PRESUPUESTO DE LA

POSTES				
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
1	ANCLAJE DE TERRENO NORMAL	87,00	101,84	8.860,08
2	ANCLAJE DE TERRENO DURO	53,00	93,18	4.938,54
3	ARMADA DE ESTRUCTURA "AU" (EST-1CA)	13,00	29,10	378,30
4	ARMADA DE ESTRUCTURA "RU" (EST-1CR)	99,00	29,10	2.880,90
5	ARMADA DE ESTRUCTURA "SU" (EST-1CP)	18,00	25,46	458,28
6	ARMADA DE ESTRUCTURA DR1 (ESD-1ER)	106,00	10,18	1.079,08
7	ARMADA DE ESTRUCTURA (ESD-1CR)	14,00	29,10	407,40
8	ARMADA DE ESTRUCTURA DS1 (ESD-1EP)	43,00	10,18	437,74
9	ARMADA DE ESTRUCTURA DRR1 (ESD-1ED)	20,00	11,11	222,20
10	ARMADA DE TAT-0TD (TENSOR A TIERRA AT Y BT)	94,00	38,19	3.589,86
11	ARMADA DE TAT-0TS (TENSOR A TIERRA AT)	16,00	33,95	543,20
12	ARMADA DE TAD-0TS (TENSOR A TIERRA EN BT)	30,00	30,55	916,50
13	ERECCION POSTES PT0-0PC12 500 S/G SIN GRUA 12 MTS PLASTICO	81,00	85,02	6.886,62
14	ERECCION POSTES PT0-0PC10 400 S/G SIN GRUA 10 MTS PLASTICO	14,00	68,02	952,28
15	ESTACAMIENTO DIRECTO	11.000,00	0,39	4.290,00
16	EXCAVACION DE HUECOS-TERRENO NORMAL	61,00	78,18	4.768,98
17	EXCAVACION DE HUECOS-TERRENO DURO	34,00	75,28	2.559,52
18	INSTALACION DE AMORTIGUADORES	28,00	28,01	784,28
19	UBICACIÓN DE PO0-0PC (POSTES DE PLASTICO DE 1 HASTA 2 KM)	54,00	73,28	3.957,12
20	UBICACIÓN DE PO0-0PC (POSTES DE PLASTICO DE 2 HASTA 4 KM)	10,00	97,72	977,20
21	UBICACIÓN DE PO0-0PC (POSTES DE PLASTICO DE 4 HASTA 6 KM)	31,00	146,57	4.543,67
22	UBICACIÓN DE (TRANSFORMADOR RURAL DE 6 HASTA 10KM)	8,00	586,29	4.690,32
23	APERTURA DE TROCHA	11.000,00	2,93	32.230,00
24	TALA DE ARBOL GRANDE MAS DE 60CM DE DIAMETRO	1.100,00	60,01	66.011,00
25	TALA DE ARBOL PEQUEÑO DE 25 HASTA 60CM DE DIAMETRO	1.100,00	22,50	24.750,00
26	TRANSPORTE POSTES DE PLASTICO PO0-0PC	95,00	24,75	2.351,25
			SUBTOTAL	184.464,32

Costos de mano de obra para instalar una red de distribución eléctrica.

CONDUCTORES				
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
1	TENDIDO DE CONDUCTOR ACSR 1/0-2/0 (CO0-0B1/0-2/0)	21.715,00	0,56	12160,4
2	TENDIDO DE CONDUCTOR ACSR N. 4-2 (CO0-0B4-2)	2.179,00	0,43	936,97
			SUBTOTAL	13097,37

Costos por mano de obra partida: Transformadores.

TRANSFORMADORES				
ITE M	DESCRIPCION	CANTIDA D	V. UNITARIO	V. TOTAL
1	MONTAJE DE PARARRAYOS (SPT-1A100)	5,00	45,26	226,3
2	INSTALACION PUESTA A TIERRA PTO-ODC2	33,00	48,88	1613,04
3	MONTAJE DE SECCIONADORES SPT-1S100 (CON PORTAFUSIBLE)	11,00	48,89	537,79
4	MONTAJE DE TRANSF. MONOF. 5 KVA TRT-1A5	7,00	120,76	845,32
5	MONTAJE DE TRANSF. MONOF. 10 A 15 KVA TRT-1A10 A TRT-1A15	1,00	120,76	120,76
			SUBTOTAL	3343,21

Costos por mano de obra partida: Alumbrado.

ALUMBRADO				
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
1	MONTAJE DE LUMINARIA DE 100W	4,00	22,73	90,92
			SUBTOTAL	90,92

Costos de instalación de acometida.

ACOMETIDA				
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
1	INSTALACION DE APARATO DE MEDIDICON BIFASICO, PROTECCION CON CAJA ANTIHURTO, DEJANDO NORMALIZADO EL SERVICIO AL ABONADO	20,00	38,15	763
2	INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA DESDE EL APARATO DE MEDICIÓN, CS O CP CON SUELDA EXOTÉRMICA	20,00	30,52	610,4
3	ARMADA DE ACOMETIDA	20,00	20,35	407
			SUBTOTAL	1780,4

Costos de instalación de herrajes de poste.

POSTES				
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
1	ABRAZADERA ACERO GALVANIZADO, PLETINA, 3 PERNOS, 38 X 4 X 140 MM	102,00	4,56	465,12
2	ABRAZADERA ACERO GALVANIZADO, PLETINA, 2 PERNOS, 38 X 4 X 160 MM	169,00	4,77	806,13
3	AISLADOR DE RETENIDA, PORCELANA, ANSI 54-2	109,00	3,79	413,11
4	BLOQUE DE HORMIGÓN, ANCLAJE, TIPO CÓNICO, BASE INFERIOR 400 MM, SUPERIOR 150 MM, AGUJERO 20 MM	140,00	4,58	641,20
5	ABRAZADERA ACERO GALVANIZADO, PLETINA, 2 PERNOS, 38 X 4 X 140 MM CON EXTENSIÓN	28,00	7,29	204,12
6	BASTIDOR ACERO GALVANIZADO, PLETINA 38 X 4 MM (1 1/2 X 5/32"), 1 VÍAS	186,00	2,05	381,30
7	CABLE DE ACERO GALVANIZADO, GRADO SIEMENS MARTIN, 7 HILOS, 9,52MM (3/8"), 3155 KGF	2.990,00	1,13	3378,70
8	GUARDACABO GALVANIZADO, PARA CABLE ACERO 12, 7 MM (1/2")	234,00	0,82	191,88
9	CRUCETA DE ACERO GALVANIZADO, UNIVERSAL, PERFIL "L" 75 X 75 X 6 MM (3 X 3 X 1/4") y 1000 M	16,00	21,95	351,20
10	PERNO "U" ACERO GALVANIZADO, CON 2 TUERCAS, ARANDELAS: 2 PLANAS Y 2 PRESIÓN DE 16 X 150MM (5/8" X 6"), ANCHO DENTRO DE LA U	16,00	3,26	52,16
11	PERNO MAQUINA ACERO GALVANIZADO, TUERCA, ARANDELA PLANA Y PRESIÓN, 16 X 50MM (5/8 X 2")	16,00	0,85	13,60
12	PERNO PIN PUNTA DE POSTE SIMPLE ACERO GALVANIZADO, CON ACCESORIOS DE SUJECIÓN 19 X 457MM (3/4 X 18")	62,00	12,54	777,48
13	PERNO PIN PUNTA DE POSTE DOBLE ACERO GALVANIZADO, CON ACCESORIOS DE SUJECIÓN 19 X 457MM (3/4 X 18")	13,00	14,67	190,71
14	PIE AMIGO DE ACCERO GALVANIZADO, PLETINA 38 x 6 MM (1 1/2 x 1/4") y 710 MM	16,00	3,07	49,12
15	POSTE DE PLASTICO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO DE 10 MTS	14,00	514,30	7200,20
16	POSTE DE PLASTICO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO DE 12 MTS	81,00	627,20	50803,20
17	RETENCION PREFORMADA, PARA CABLE DE ACERO GALVANIZADO DE 9,53MM (3/8")	448,00	4,51	2020,48
18	TUERCA DE OJO OVALADO ACERO GALVANIZADO, PERNO DE 16 MM (5/8")	86,00	0,91	78,26
19	VARILLA DE ANCLAJE ACERO GALVANIZADO, TUERCA Y ARANDELA, 16 X 1 800MM (5/8 X 71")	140,00	8,75	1225,00
SUBTOTAL				69242,97

Costos por instalación de transformador y accesorios

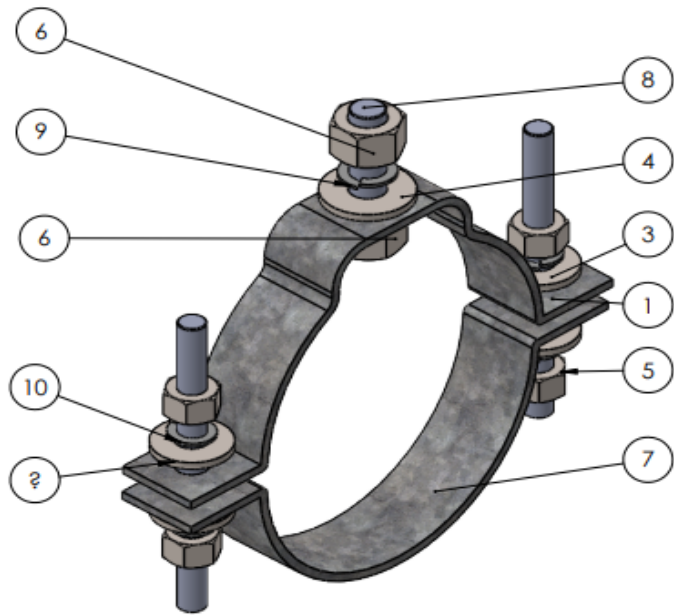
TRANSFORMADORES Y ACCESORIOS				
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
1	ABRAZADERA ACERO GALVANIZADO, PLETINA, 3 PERNOS, 50 X 6 X 160 MM	16,00	7,29	116,64
2	CABLE DE CU, CABLEADO 600 V, THHN, 2 AWG, 7 HILOS	14,00	1,58	22,12
3	CONDUCTOR DE CU, DESNUDO, CABLEADO SUAVE, 2 AWG, 7 HILOS	252,00	3,53	889,56
4	PARARRAYO TIPO VALVULA DE 10 KV.*	5,00	50,18	250,90
5	SECCIONADOR BARRA, 1P, ABIERTO, 15 KV, 10 KA, BIL 110 KV, 100A	8,00	99,62	796,96
6	SUELDA EXOTERMICA # 65	20,00	4,26	85,20
7	SUELDA EXOTERMICA DE 90 GRAMOS	33,00	5,64	186,12
8	TIRAFUSIBLE DE 0.4 SF	7,00	3,57	24,99
9	TIRAFUSIBLE DE 0.7 SF	1,00	3,57	3,57
10	TIRAFUSIBLE, CABEZA FIJA, TIPO K, 15 A.	3,00	3,14	9,42
11	TRANSF. MONOF. CSP 5 KVA 13.2GRDY/7.6 KV-240/120V	7,00	1059,97	7419,79
12	TRANSF. MONOF. CSP 10 KVA 13.2GRDY/7.6 KV-240/120V	1,00	1128,96	1128,96
13	VARILLA DE ACERO RECUBIERTA DE CU, PARA PUESTA A TIERRA, 16 X 1800 MM (5/8 x 71")	33,00	9,52	314,16
SUBTOTAL				11248,39

Costos de instalación de la parte de alumbrado y accesorios.

ALUMBRADO Y ACCESORIOS				
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
1	BRAZO ACERO GALVANIZADO, TUBULAR, LUMINARIA, POSTE, 38 (1 1/2") X 1 000 X 2 MM	4	9,41	37,64
2	CABLE DE CU, SOLIDO 600 V, THHN, 14 AWG	20	0,19	3,80
3	CONECTOR DE ALEACION DE AL, DE COMPRESION TIPO "C", PRINCIPAL 6 -2 AWG, DERIVADO 14 - 8 AWG	8	1,33	10,64
4	LUMINARIA VAPOR DE SODIO DE 100 W-220V. BASE DE FOTOCELULA, CON FOCO	4	145,00	580,00
SUBTOTAL				632,08

ANEXO C: PLANOS MECANICOS DE LOS ELEMENTOS -COMPONENTES SELECCIONADOS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA.

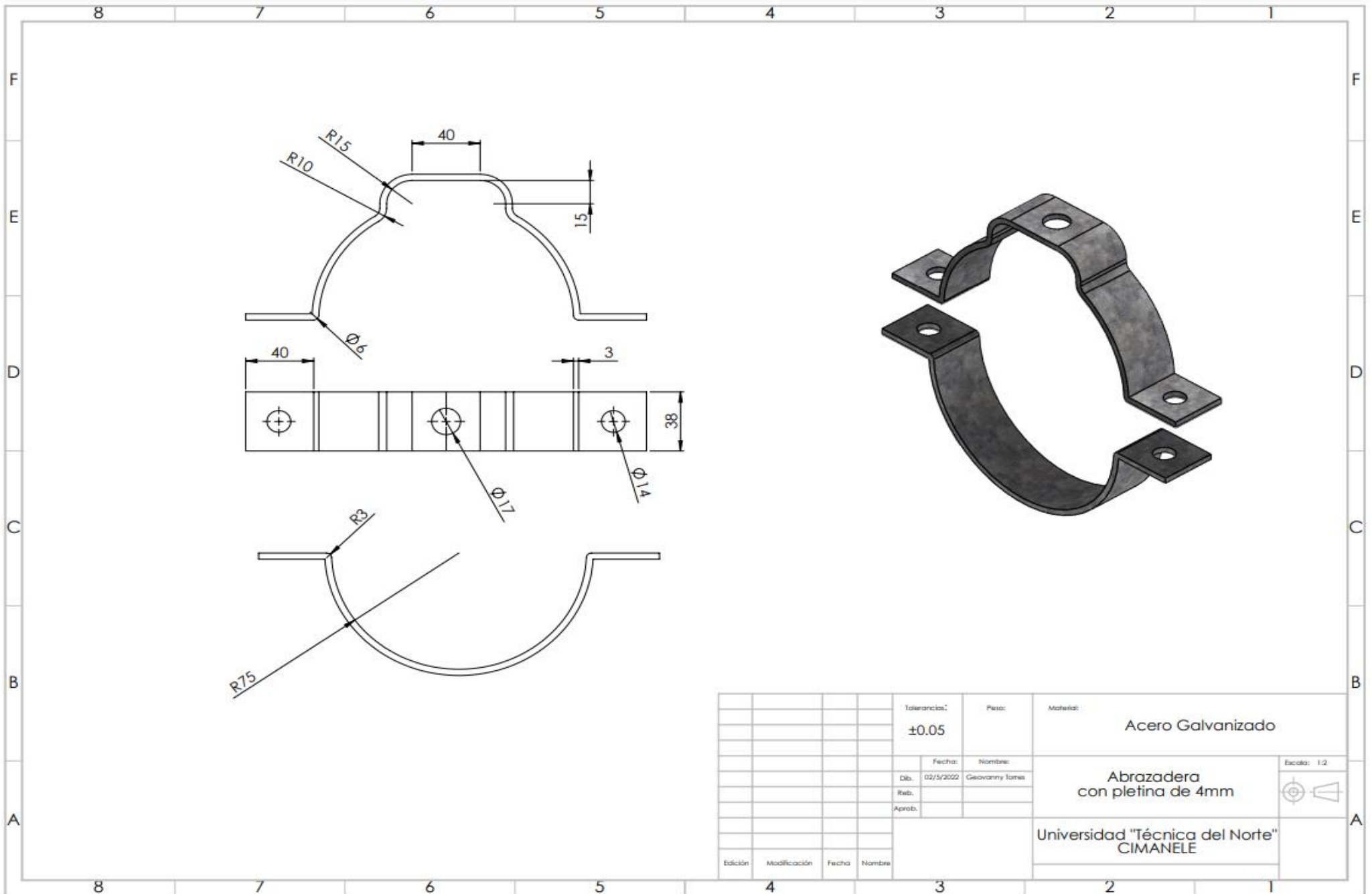
Nota (El documento con los planos de los herrajes diseñados en SolidWorks se une y se visualiza en el pdf ya que es el formato que me permite exportarlo, ojo revisar pdf)



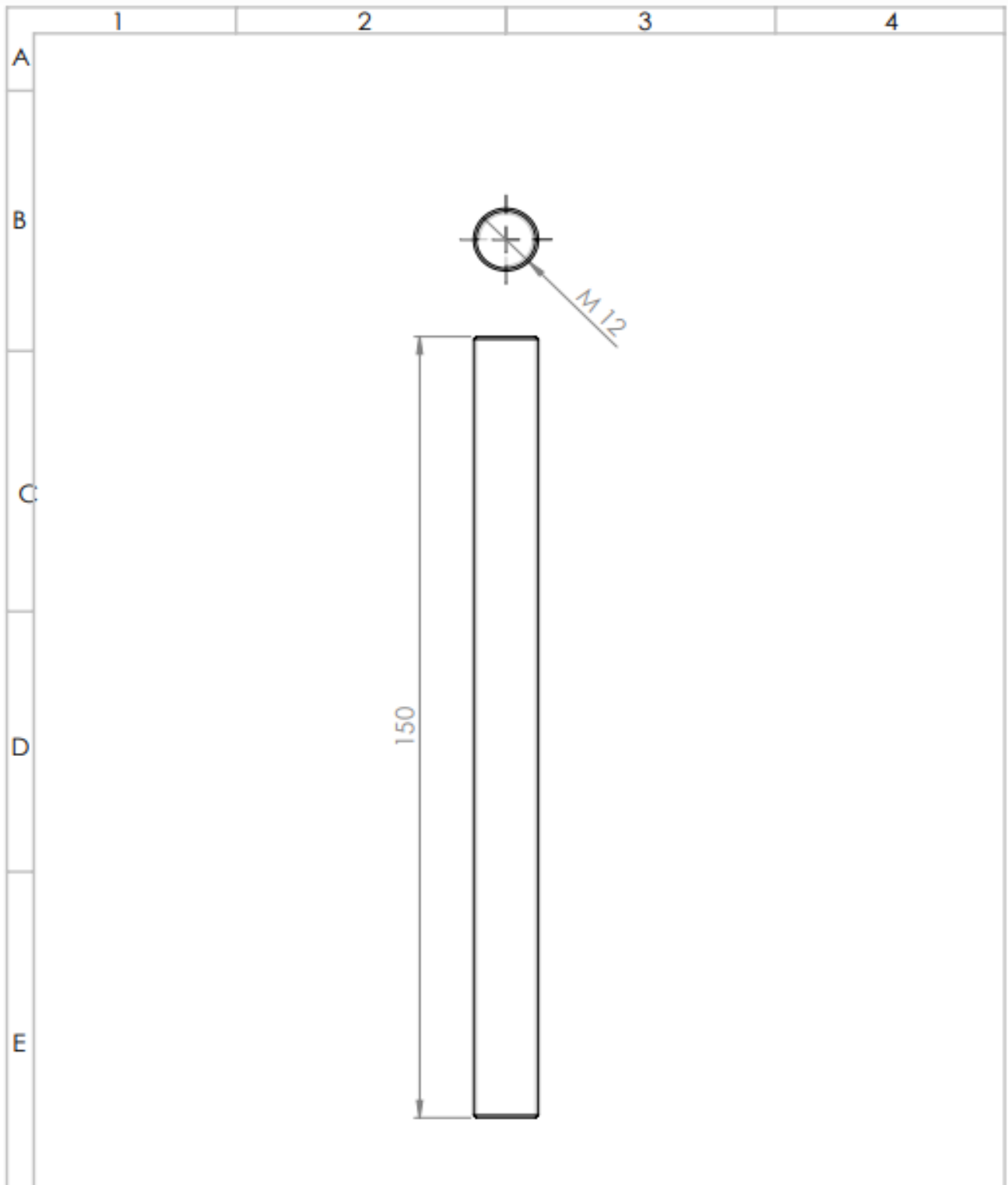
10	Arandela de presión Ø12	4
9	Arandela de presión Ø16	1
8	Eje Roscado Ø15	1
7	Abrazadera Inferior	1
6	Tuerca Hexagonal M16 x 2 --D-N	2
5	Tuerca Hexagonal, M12 x 1.75	4
4	Arandela, 15 mm, regular	1
3	Arandela, 12 mm, regular	4
2	Eje Roscado Ø12	2
1	Abrazadera Superior	1

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
-----------------	--------------	----------

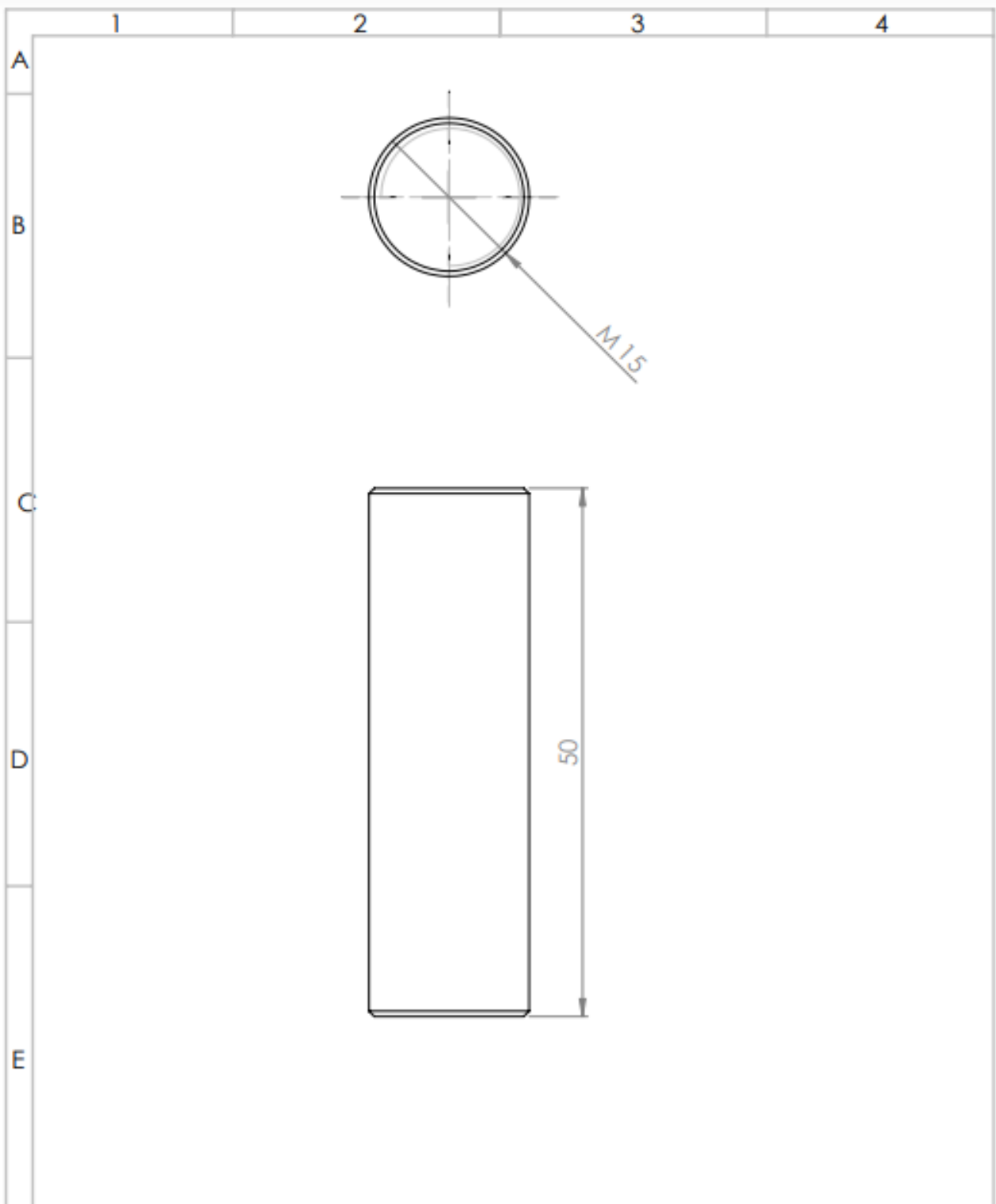
	Tolerancias:	Peso:	Materia:	Acero Galvanizado
	±0.05			
	Fecha:	Nombre:	Abrazadera con pletina de 4mm	Escala: 1:2
	Dib. 13/5/2022	Geovanny Torres		
	Reb.:			
	Aprob.:			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Universidad "Técnica del Norte" CIMANELE



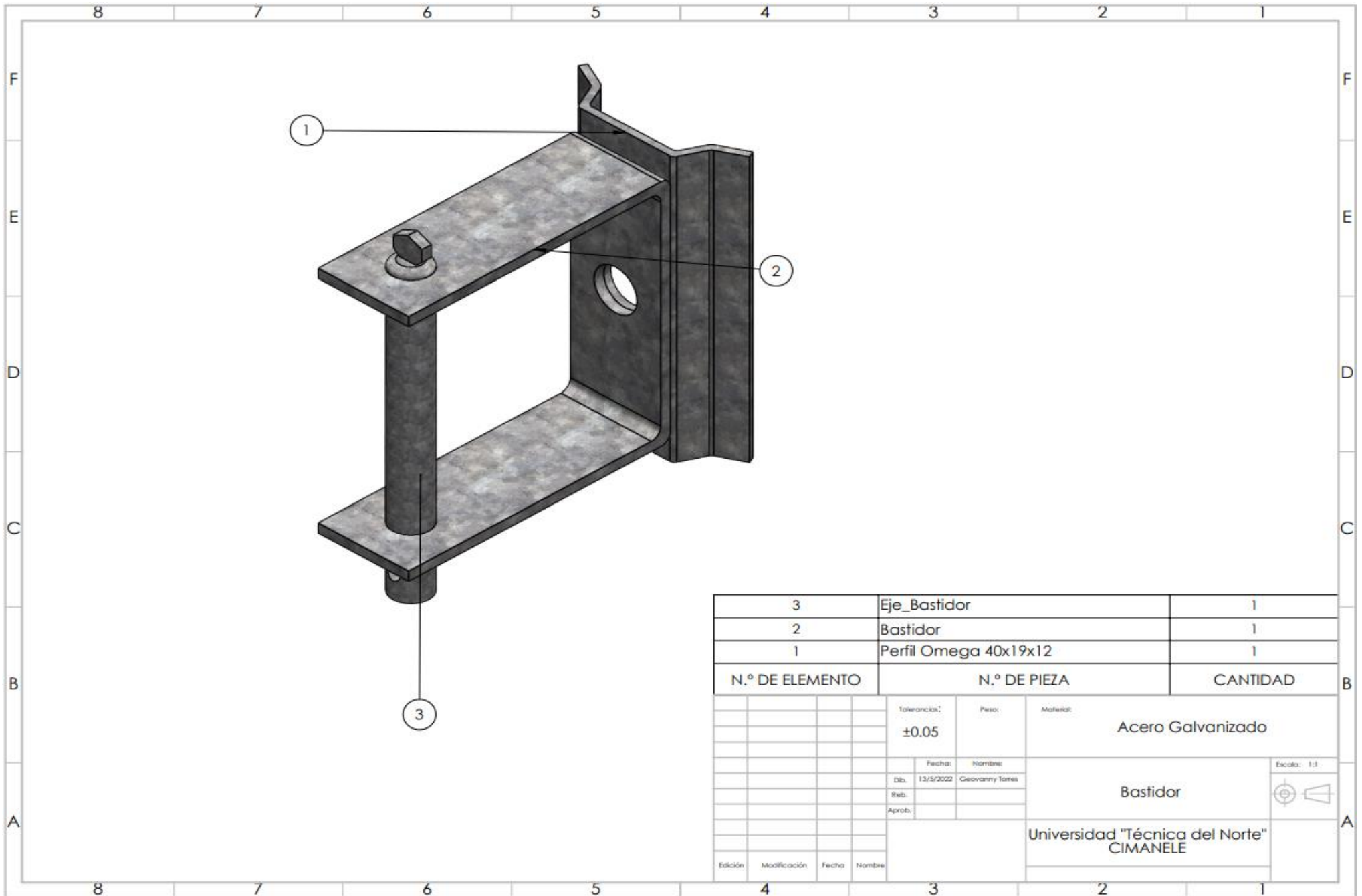
Tolerancias:		Peso:	Materia:	Acero Galvanizado
± 0.05				
Fecha:		Nombre:	Abrazadera con pletina de 4mm	Escala: 1:2
Dib.	02/5/2022	Geovanny Torres		
Rev.				
Aprob.				
Edición		Modificación	Fecha	Nombre
Universidad "Técnica del Norte"			CIMANELE	



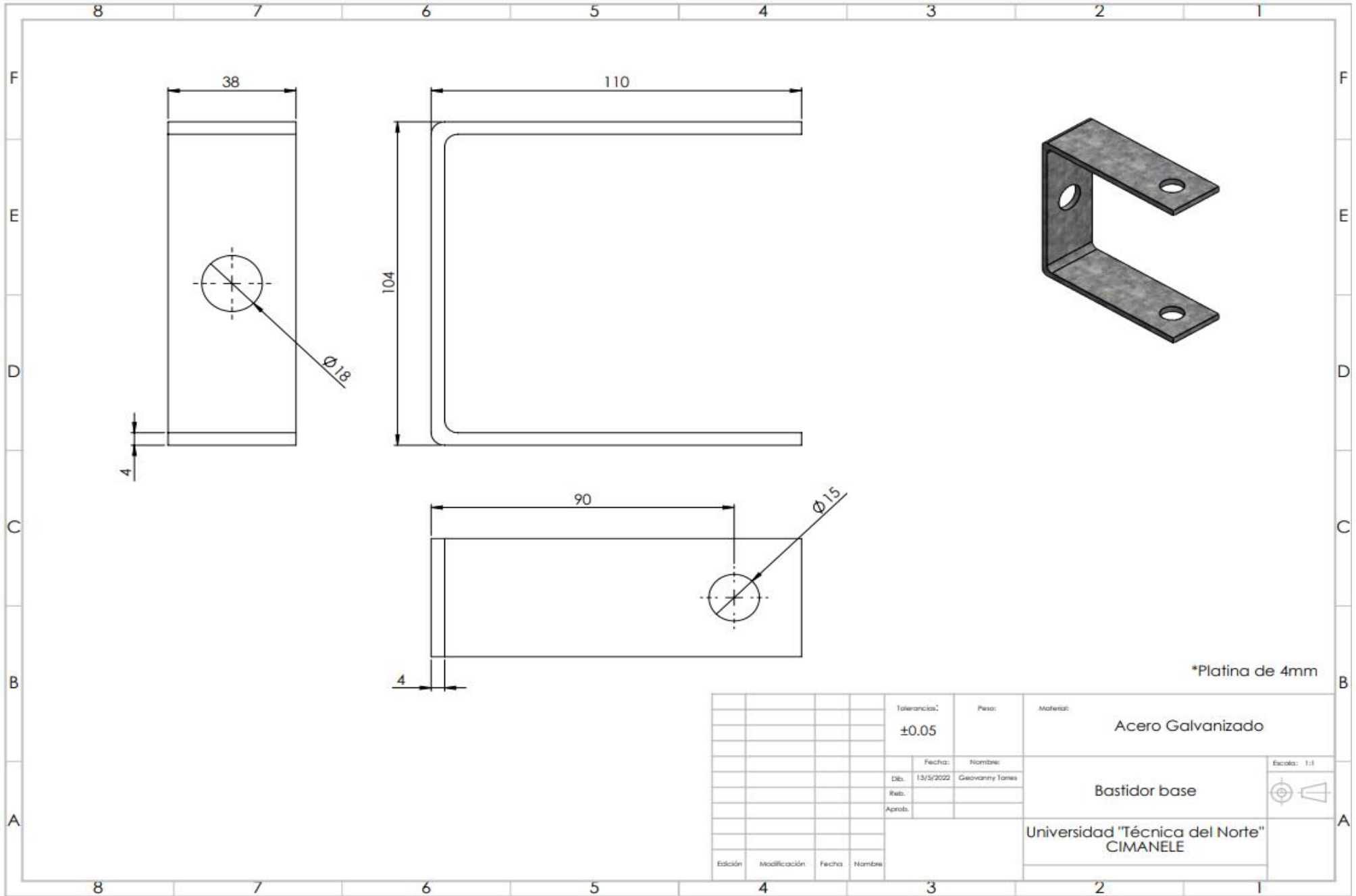
				Tolerancias:	Peso:	Material	AISI 1023
				±0.05			
				Fecha:	Nombre:	Eje roscado	Escala: 1:1
				Dib. 13/5/2022	Geovanny Torres		
				Feb.			
				Aprob.			
				Universidad "Técnica del Norte"			
				CIMANELE			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

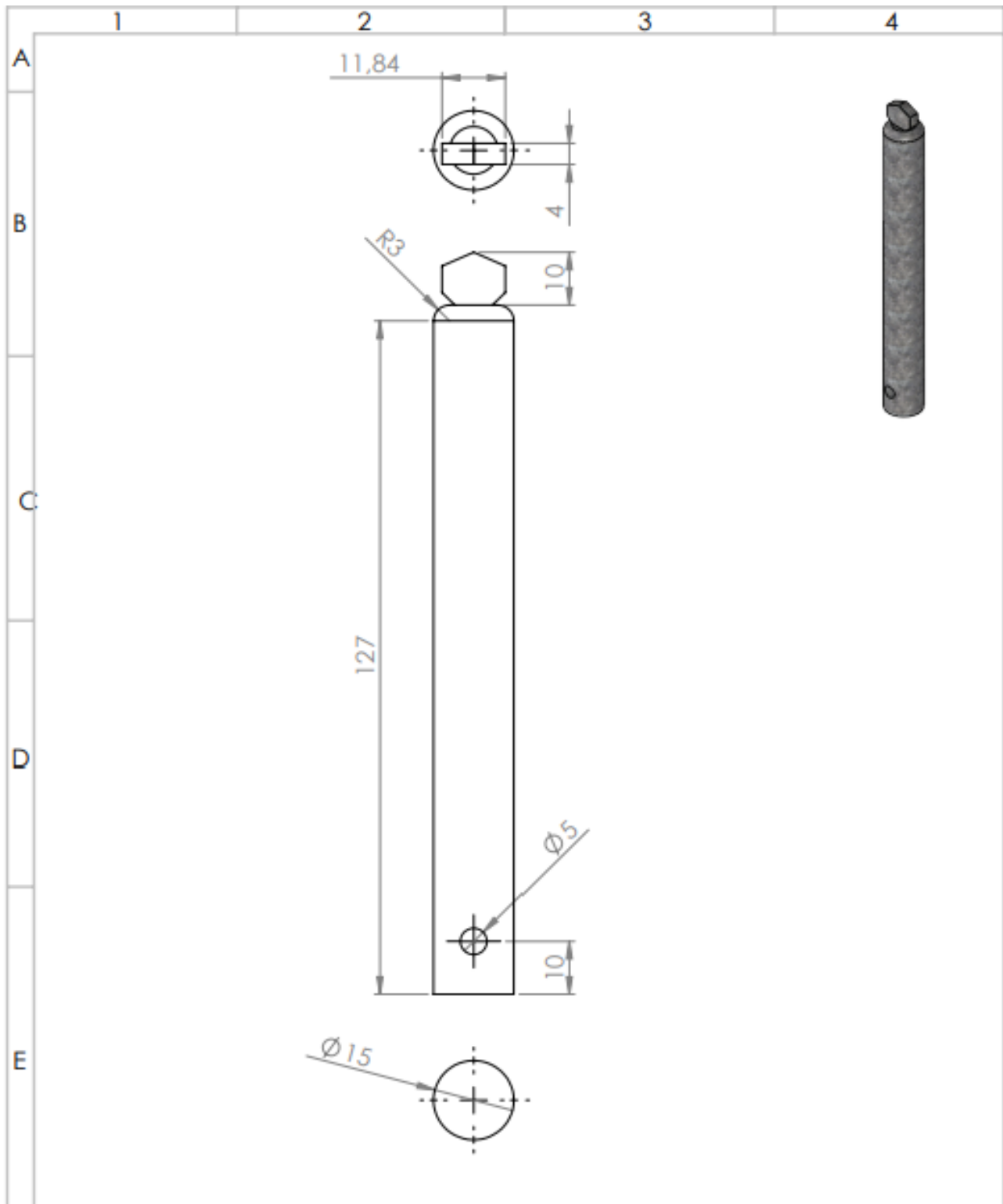


				Tolerancias:	Peso:	Material:	AISI 1023
				±0.05			
					Fecha:	Nombre:	Eje roscado
				Dib.	13/5/2002	Geovanny Torres	
				Reb.			
				Aprob.			Escala: 2:1
				Universidad "Técnica del Norte" CIMANELE			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

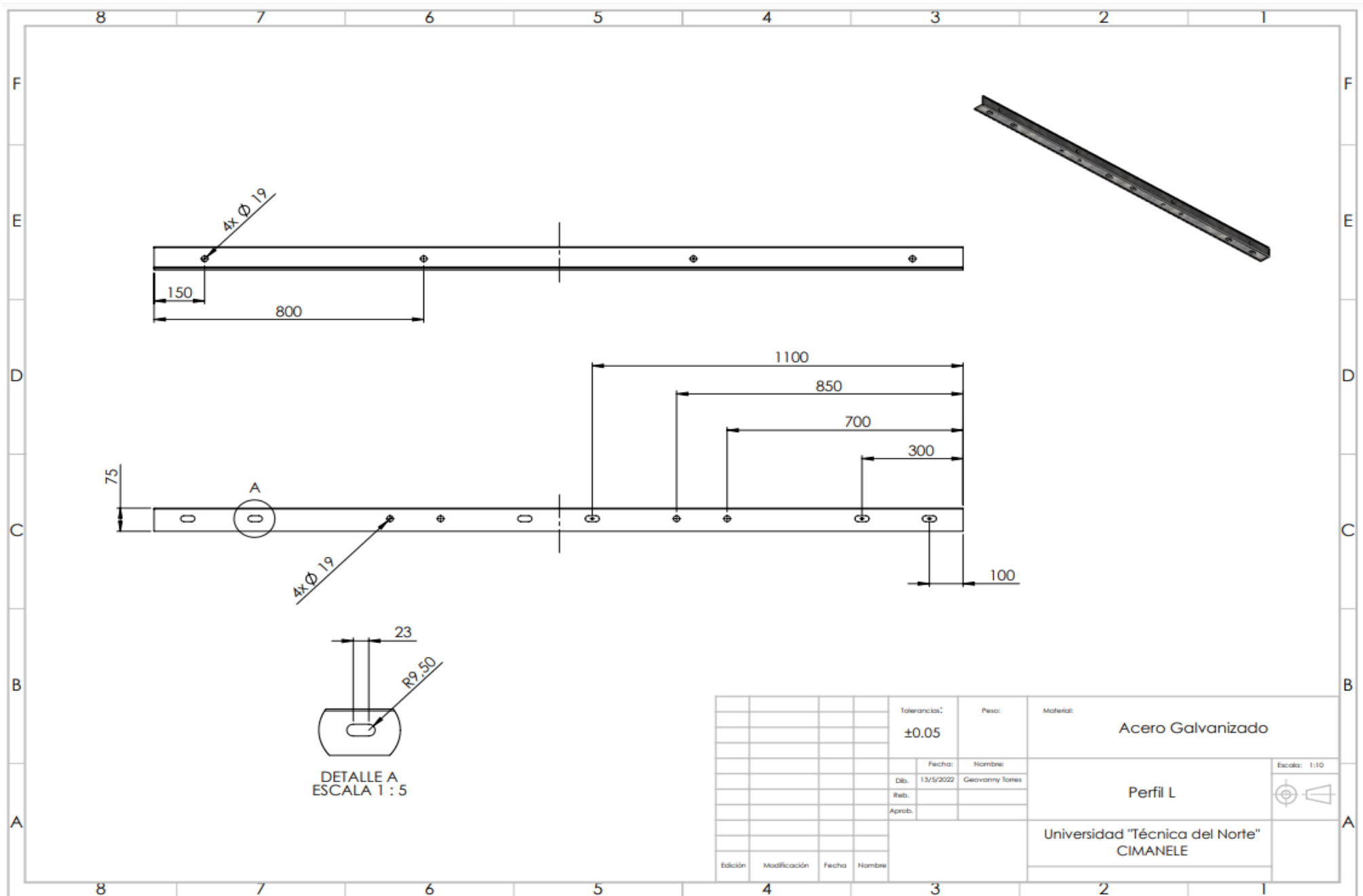


3	Eje_Bastidor	1
2	Bastidor	1
1	Perfil Omega 40x19x12	1
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
	Tolerancia: ± 0.05	Peso:
	Fecha: 13/5/2022	Nombre: Geovanny Torres
	Edici3n	Modificaci3n
	Fecha	Nombre
	Material: Acero Galvanizado	
	Escala: 1:1	
	Bastidor	
	Universidad "T3cnica del Norte" CIMANELE	





				Tolerancias:	Peso:	Materia:	AISI 1023
				±0.05			
				Fecha:	Nombre:	Eje Bastidor	Escala: 1:1
				Dib. 13/5/2002	Geovanny Torres		
				Reb.			
				Aprob.		Universidad "Técnica del Norte" CIMANELE	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



Tolerancias:		Peso:	Materia:
±0.05			Acero Galvanizado
Fecha:		Nombre:	Escala: 1:10
Dib. 13/5/2022		Geovanny Torres	
Reb.			
Aprob.			
		Perfil L	
		Universidad "Técnica del Norte" CIMANELE	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre