

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



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

## **ESTUDIO DE REDUCCIÓN DE EFECTOS OCASIONADOS POR HUMEDAD UTILIZANDO UNA PROTECCIÓN SUPERFICIAL SOBRE LOS CONTACTOS ELÉCTRICOS A BASE DE NANOPARTICULAS EN INSTALACIONES SOMETIDAS A CONDICIONES DE HUMEDAD**

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:

Dennys Fernando Coral Pérez

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			
<b>CEDULA DE IDENTIDAD:</b>	040192367-7		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Coral Pérez Dennys Fernando		
<b>DIRECCION:</b>	Ibarra (calle: Isla santa cruz y quito)		
<b>EMAIL:</b>	dfcoralp@utn.edu.ec		
<b>TELEFONO FIJO:</b>	2546-889	<b>TELEFONO MÓVIL:</b>	0981795671

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	ESTUDIO DE REDUCCIÓN DE EFECTOS OCASIONADOS POR LA HUMEDAD UTILIZANDO UNA PROTECCIÓN SUPERFICIAL SOBRE LOS CONTACTOS ELÉCTRICOS A BASE DE NANOPARTÍCULAS EN INSTALACIONES SOMETIDAS A CONDICIONES DE HUMEDAD.
<b>AUTOR:</b>	Dennys Fernando Coral Pérez
<b>FECHA: DD/MM/AAAA</b>	16/01/2023
<b>SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO</b>	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
<b>TITULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico
<b>ASESOR/DIRECTOR:</b>	Ing. Julio Masson



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACION DE USO Y PUBLICACION**  
**A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TECNICA 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 enero de 2023

EL AUTOR:

Coral Pérez Dennys Fernando



**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: Coral Pérez Dennys Fernando, certifico que ha cumplido con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado: **“ESTUDIO DE EFECTOS OCASIONADOS POR LA HUMEDAD UTILIZANDO UNA PROTECCIÓN SUPERFICIAL SOBRE LOS CONTACTOS ELÉCTRICOS A BASE DE NANOPARTICULAS EN INSTALACIONES SOMETIDAS A CONDICIONES DE HUMEDAD”** 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

“Solo tú puedes decidir qué hacer con el tiempo que se te ha dado”

**J. R. R. Tolkien**

El esfuerzo de este trabajo lo dedico:

A Dios que nunca me dejó solo en las decisiones que he tomado en cada momento de mi formación profesional, brindándome entendimiento, fortaleza y sabiduría para superar todas las adversidades.

A mi persona, por demostrarme que soy capaz creer y llegar a límites más allá de los imaginados con el apoyo de mi ángel que ha guiado mi camino desde que llegue a este mundo. En especial a mi padre Byron Coral que me acompañó siempre en toda mi formación universitaria.

A mi familia, por compartir sus sabios consejos, por apoyo moral, económico y por demostrarme con hechos que el esfuerzo es recompensado con el sacrificio que se genera día a día, se merece toda mi gratitud incondicional.

A mi tutor y mi docente que siempre estuvieron al pendiente compartiendo sus conocimientos para que el trabajo de investigación, que permitió llegar a finalizarse de la mejor manera, en especial mi tutor que gracias a sus ánimos y vibra positiva sé a obtener resultados favorables en la investigación.

***Coral Pérez Dennys Fernando***



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

### AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a la Universidad Técnica del Norte por ayudarme en el aprendizaje e impartir los conocimientos necesarios para formar un profesional competitivo.

A Dios, por generar esa fuerza de lucha y entendimiento en las dificultades momentáneas en la etapa de formación profesional. Por llenarme de alegría, salud y otorgar vibra positiva en las acciones tomadas superando las metas propuestas.

A mi asesor MSc. Julio Guerra docente de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, por la guía, aprecio y ánimos para los estudiantes, brindando su conocimiento en todo momento desde el inicio dedico tiempo y seguimiento en el presente trabajo de grado.

A los docentes de la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico por compartir todos sus conocimientos en cada asignatura impartida.

A mis padres y familiares por ser el apoyo y la fuente de inspiración desde el inicio hasta la finalización de mis estudios.

A mis compañeros y amigos que acompañaron en el proceso de formación en la universidad, por sus consejos, anécdotas vividas en el transcurso de los estudios.

***Coral Pérez Dennys Fernando***

# TABLA DE CONTENIDO

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA .....	II
CONSTANCIA .....	III
ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR .....	IV
DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTO .....	VI
TABLA DE CONTENIDO .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
RESUMEN .....	XIV
ABSTRACT.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVI
A1. Contextualización. ....	XVI
A2. Planteamiento del problema.....	XVII
A3. Formulación de problemas.....	XVII
A4. Justificación del trabajo.....	XVIII
A5. Alcance .....	XVIII
A6. Objetivo general.....	XIX
A7. Objetivos específicos.....	XIX
Capítulo 1 Nanopartículas protectoras en conflictos provenientes de humedad .....	1
1.1. Elementos de las instalaciones eléctricas .....	1
1.2. Estructura de los componentes. ....	4
1.3. Humedad .....	9
1.3.1. Factores que influyen en la humedad .....	10
1.3.2. Afectaciones de la humedad en los sistemas de distribución eléctrica.....	11
1.4. Nanotecnología .....	13

1.4.1.	Nanopartículas.....	14
1.4.2.	Método Top-down.....	15
1.4.3.	Método bottom-up.....	16
1.5.	Recubrimientos Nanotecnológicos .....	16
1.5.1.	Recubrimientos a base de nanopartículas.....	17
1.5.2.	Recubrimientos autorreparables .....	17
1.5.3.	Recubrimientos orgánicos .....	18
1.5.4.	Recubrimientos electrolíticos.....	19
1.5.5.	Recubrimientos nanoestructurados.....	19
1.5.6.	Recubrimientos a base de nanomateriales cerámicos .....	20
1.5.7.	Recubrimientos hidrofóbicos .....	20
1.6.	Recubrimientos Nanotecnológicos libre de corrosión .....	21
1.6.1.	Recubrimientos Superhidrofóbicos .....	21
1.6.2.	Aplicaciones de los nanorecubrimientos.....	22
Capítulo 2 Efectos de humedad en contactos y estructuras eléctricas.....		25
2.1.	Introducción.....	25
2.2.	Descripción del campo de estudio.....	25
2.3.	Análisis de efectos producidos por la humedad.....	26
2.4.	Materiales del sistema de control de humedad.....	27
2.4.1.	Contenedor para el ambiente controlado.....	28
2.4.2.	Vaporizador.....	29
2.4.3.	Sensores .....	29
2.4.4.	Arduino .....	32
2.4.5.	Fritzing.....	33
2.4.6.	Pantalla LCD.....	33
2.4.7.	Módulo I2C.....	34
2.4.8.	Relé mecánico .....	35

2.5.	Piezas Metálicas .....	36
2.5.1.	Tuerca de ojo ovalado .....	36
2.5.2.	Perno de ojo.....	36
2.5.3.	Aislador de porcelana tipo carrete.....	37
2.6.	Sistema de control de humedad .....	37
2.6.1.	Control de intensidad.....	38
2.6.2.	Acoplamiento del sistema de control de humedad e intensidad del vaporizador .	38
2.7.	Recubrimientos .....	39
2.7.1.	Síntesis del recubrimiento de $TiO_2$ .....	39
2.8.	Mediciones .....	40
2.8.1.	Medición visual .....	40
2.8.2.	Técnica del gramaje.....	42
2.8.3.	Resistencia.....	42
2.8.4.	Resistencia de área superficial externa .....	46
Capítulo 3 Propuesta para el uso de recubrimientos a base de nanopartículas.....		49
3.1.	Introducción.....	49
3.2.	Estimación del recubrimiento necesario por pieza.....	50
3.2.1.	Cálculo del área superficial. ....	50
3.2.2.	Cálculo del recubrimiento deseado.....	51
3.2.3.	Cálculo del costo unitario.....	51
3.3.	Proceso de aplicación de los recubrimientos a base de nanopartículas.....	52
3.3.1.	Limpieza de la pieza metálica. ....	52
3.3.2.	Ubicación de nanopartículas en el recipiente de dispersión.....	53
3.3.3.	Equipos de protección personal. ....	53
3.3.4.	Posicionar el herraje. ....	54
3.3.5.	Colocación del recubrimiento. ....	55
3.3.6.	Tiempo de secado del recubrimiento. ....	55

3.4. Costo de aplicación.....	56
3.4.1. Conteo del número de estructuras monofásicas de medio voltaje instaladas en la ciudad de San Antonio de Ibarra.....	72
3.4.2. Costo total de las estructuras a cambiarse en la ciudad de San Antonio de Ibarra.	73
3.4.3. Factibilidad para utilización de nanopartículas. ....	74
CONCLUSIONES .....	81
RECOMENDACIONES.....	82
REFERENCIAS .....	83
ANEXOS .....	92
ANEXO A: Código Arduino del control de humedad.....	92
ANEXO B: Cálculo del área superficial de herrajes.....	95
ANEXO C: Medición de diámetro, ancho y largo de herrajes. ....	101
ANEXO D: aplicación de recubrimientos en el patio para montajes de distribución en la carrera de CIELE.....	103
ANEXO E: Extracción de estructuras instaladas en San Antonio. ....	104
ANEXO F: Cálculo de las variaciones de resistencia por año.....	106

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Medidas Nanométricas .....	13
Fig. 2. Nano recubrimiento .....	14
Fig. 3. Obtención de Nanopartículas Metálicas .....	15
Fig. 4. Nanorecubrimiento hidrofóbico .....	17
Fig. 5. Fisura Afectada.....	18
Fig. 6. Recubrimientos Orgánicos Industriales .....	19
Fig. 7. Grado Hidrofóbico en la superficie .....	21
Fig. 8. Diagrama de flujo del análisis de efectos ocasionados por humedad .....	26
Fig. 9. Sistema de control de humedad.....	27
Fig. 10. Cooler (Recipiente).....	28
Fig. 11. Vaporizador. ....	29
Fig. 12. Módulo DHT-22 .....	30
Fig. 13. Sensor Ds18b20 .....	31
Fig. 14. Componentes del Arduino .....	32
Fig. 15. Pantalla LCD.....	34
Fig. 16. Módulo I2C.....	35
Fig. 17. Modulo relé .....	35
Fig. 18. Piezas metálicas para el campo de estudio. A (con recubrimiento) y B (Sin recubrimiento) .....	37
Fig. 19. Esquema de Control de Intensidad.....	38
Fig. 20. Esquema del sistema control de humedad.....	39
Fig. 21. Parte posterior de las estructuras, "A" (con recubrimiento) y "B" (Sin recubrimiento)...	40
Fig. 22. Parte superior de la estructura "A" (con recubrimiento) y "B" (Sin recubrimiento).....	41
Fig. 23. Blanqueamiento de la estructura "A" (con recubrimiento) y "B" (Sin recubrimiento) .....	41
Fig. 24. Grumos de corrosión. "A" (con recubrimiento) y "B" (Sin recubrimiento).....	41
Fig. 25. Residuos de corrosión estructura "B" (Sin recubrimiento).....	42
Fig. 26. Esquema de medición de resistencia del circuito .....	43
Fig. 27. Resistencia de la plancha.....	43
Fig. 28. Medición de resistencia "A" (con recubrimiento) .....	45
Fig. 29. Medición de resistencia "B" (Sin recubrimiento) .....	45
Fig. 30. Pieza "A" (con recubrimiento) y pieza "B" (sin recubrimiento).....	46
Fig. 31. Corte afectado .....	46
Fig. 32. Calibración del multímetro analógico .....	47

Fig. 33. Medición de resistencia "A" (con recubrimiento) .....	47
Fig. 34. Medición de resistencia "B" (sin recubrimiento).....	47
Fig. 35. Medición de resistencia "A" (con recubrimiento) .....	48
Fig. 36. Medición de resistencia "B" (sin recubrimiento).....	48
Fig. 37. Cálculo del área superficial Fuente: Autor .....	50
Fig. 38. Materiales para el uso de nanopartículas .....	52
Fig. 39. Posicionamiento de las nanopartículas.....	53
Fig. 40. Uso de equipos de protección.....	54
Fig. 41. Posición vertical del herraje .....	54
Fig. 42. Recipiente para el rocío de nanopartículas.....	55
Fig. 43. Secado del recubrimiento.....	55
Figura 44. Variación de resistencia B.....	76
Figura 45. Variación de Resistencia B .....	77
Figura 46. Variación de Resistencia A .....	78
Figura 47. Variación de Resistencia A .....	79
Figura 48. Variación de Resistencia pieza A y B .....	79

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. 1 Características esenciales de los herrajes eléctricos. ....	4
TABLA 1. 2. Características esenciales de los aislantes eléctricos. ....	7
TABLA 2.1. Características del cooler .....	28
TABLA 2.2. Especificaciones técnicas del sensor DHT-22 .....	30
TABLA 2.3. Especificaciones técnicas del sensor Ds18b20 .....	31
TABLA 2.4. Especificaciones técnicas del Arduino Uno.....	33
TABLA 2.5. Ficha técnica de la pantalla LCD de 16 x 12 canales .....	34
TABLA 2.6. Especificaciones técnicas del modulo relé. ....	36
TABLA 2.7. Valores de resistencia de las piezas metálicas.....	44
TABLA 2.8. Valores de resistencia superficial de las partes metálicas.....	48
TABLA 3.1. Valor del área superficial total, valor del recubrimiento y el costo monetario. 62	
TABLA 3.2. Cantidad de estructuras instaladas.....	74
TABLA 3.3. Costo requerido para instalación y cambio de estructuras monofásicas.....	75
TABLA 3.4. Costo total de aplicación de recubrimientos nanotecnológicos.....	75
TABLA 3.5. Resultados de pruebas a los herrajes.....	78

## RESUMEN

Los cambios climáticos en el ambiente generan variaciones de humedad y dependiendo del nivel de humedad excesivo, este produce desgaste y envejecimiento en los terminales eléctricos, piezas metálicas y herrajes eléctricos. Para disminuir los efectos ocasionados por la humedad en contactos y herrajes eléctricos, se optó utilizó recubrimientos hechos a base de nanopartículas con la finalidad de reducir pérdidas y alargar la vida útil de los herrajes y contactos eléctricos. En este trabajo se utiliza recubrimientos superficiales hechos a base de nanopartículas para lo cual se realiza un estudio experimental en las redes de distribución de suministro eléctrico, en específico en los herrajes de conexión, los cuales están sometidos a las condiciones climáticas y humedad, la cual produce corrosión. Para determinar la velocidad de degradación de los herrajes eléctricos se diseñó un sistema que simula un ambiente controlado a niveles de humedad relativa entre 70 - 85%. En este sistema se probaron la aplicación de nanopartículas de dióxido de titanio con un tamaño de partícula de 6nm sobre un componente de acero galvanizado y posteriormente se realizó la comparación entre las dos piezas con y sin recubrimiento para determinar el cambio en los componentes.

La resistencia eléctrica en la pieza metálica después de su sometimiento a condiciones de humedad presenta en la pieza sin recubrimiento un aumento del 46.20  $\Omega$  mientras que la pieza con el recubrimiento tiene un aumento de 37.40  $\Omega$  siendo este último menor. La prueba de gramaje dio como resultado la generación de residuos de 0.9 gr. en el herraje sin recubrimiento y cero residuos en la pieza con recubrimiento. A partir de los resultados podemos decir que la vida útil de la pieza con recubrimiento se puede extender por 4 años a los 20 que dura una pieza sin la protección de las nanopartículas. La adquisición y aplicación de las nanopartículas tiene un costo de 7554.75 \$ por lo tanto, no es una solución a corto plazo real.

**Palabras Claves:** Condiciones climáticas, Humedad, Nanopartículas, Herrajes eléctricos.

## ABSTRACT

Climate changes in the environment generate humidity variations and depending on the excessive humidity level, this produces wear and aging in electrical terminals, metal parts, and electrical fittings. To reduce the effects caused by humidity in contacts and electrical fittings, coatings made from nanoparticles were decided to reduce losses and extend the useful life of fittings and electrical contacts. In this work, surface coatings made from nanoparticles are used. An experimental study is carried out in the electricity supply distribution networks, specifically in the connection fittings, which are subjected to climatic conditions and humidity, producing corrosion. To determine the rate of degradation of electrical fittings, a system was designed to simulate a controlled environment at relative humidity levels between 70 - 85%. In this system, the application of titanium dioxide nanoparticles with a particle size of 6nm on a galvanized steel component was tested. Later, a comparison was made between the two pieces with and without coating to determine the change in the components.

The electrical resistance in the metallic piece after its submission to humid conditions presents an increase of 0.067  $\Omega$  in the piece without coating. In comparison, the piece with the coating has an increase of 0.056  $\Omega$ , the latter being less. The grammage test resulted in the generation of 0.9g in the uncoated hardware and zero waste in the coated part. Based on the results, we can say that the useful life of the coated piece can be extended by four years to the 20 years that a piece lasts without the protection of nanoparticles. The nanoparticle acquisition and application cost \$7554.75; therefore, it is not a real short-term solution.

**Keywords:** weather conditions, moisture, nanoparticles, electrical fittings

# INTRODUCCIÓN

## A1. Contextualización.

La humedad del ambiente está presente en distintas cantidades dependiendo de las regiones donde estemos ubicados y según la porción de moléculas de agua encontradas en el aire causan diversos beneficios y afectaciones en áreas de intemperie, como también en espacios cerrados donde las estructuras de objetos muestran cambios en sus propiedades.

En Malasia el exceso de la humedad ha llevado a las personas a usar madera de caucho, la cual es utilizada para la elaboración de muebles que se contraigan una mínima parte en presencia de humedad. (Yuhazri, Jennise, Kamarul, Edeerozey, & Hussein, 2018)

En la industria los procesos de automatización de los terminales para distribución, presentan fallas eléctricas que reducen la vida útil y a su vez interrumpen con las operaciones que deben desarrollarse, todo esto sucede por trabajar en ambientes elevados de humedad. (Xuntao, Qingpai, jinyong, & Zhiyong, 2020)

Además de estos problemas mencionados anteriormente, ocasionan otras afectaciones en los conectores de máquinas mecánicas que presentan una degradación e incremento de corrosión por la presencia de humedad, teniendo como consecuencia el cambio de su estado natural. (Bajenescu, 2020)

También se toma como ejemplo los problemas que existen en los buques, donde las conexiones eléctricas de los equipos en un sistema de propulsión, están amenazados por la presencia de humedad y por ende esto produce la reducción de confiabilidad en el funcionamiento. (Shiyin & Bo, 2011)

Los niveles elevados de temperatura y humedad hacen que el comportamiento de los condensadores multicapa cambie llegando a un efecto de gotas de rocío por condensación, presentándose fallas eléctricas en los elementos. (Yeung & Chan, 1994)

En el caso de los bujes de pared que forman parte de transformadores e interruptores, pueden ocasionar explosiones llegando a afectar a toda una subestación, esto ocurre por ciertos factores como operación pesada, distribución de campo y elevada humedad a la que se encuentran sometidos los elementos eléctricos. (Fucheng & Hongkui, 2016)

Mediante pruebas usando pinturas anticorrosivas y aplicando nanopartículas, se ha demostrado que existe una mayor eficiencia que protección contra la humedad, corrosión y oxidación, problemas que generan pérdidas de dinero en industrias, empresas y sectores que se encuentren relacionados con la utilización de pinturas. (Anquino, 2016)

Otra utilidad de las nanopartículas se emplea en los revestimientos de aceros inoxidables pulvimetalurgias con la finalidad de minimizar el deterioro del material metálico que es ocasionado por la humedad, para dar solución realizan estudios de comparaciones con nanopartículas de zinc y óxido de níquel permitiéndoles observar cómo se comporta en el acero y a su vez disminuye una cantidad de humedad. (Bello, 2018)

Estudios efectuados en Estados Unidos informan que tienen una pérdida de 500.000 millones de dólares a causa de la corrosión que ocurrió por la humedad del ambiente. Expertos asegura que se podrá disminuir la corrosión en un rango que va desde los 125.000 \$ a 150.000 \$, por medio de mantenimiento y planes preventivos. (Naushar, y otros,2016)

## **A2. Planteamiento del problema.**

En lugares cálidos como la Costa y Amazonia existe humedad dentro de los contactos eléctricos, donde se detectan altas cantidades de oxidación, corrosión y salinidad, que a su vez produce una afectación de los metales, aumentando el valor de su resistencia que se opone al paso de la corriente y genera un consumo innecesario de energía.

Esto provoca una reducción en la eficiencia energética de las instalaciones eléctricas y en casos extremos donde la estructura del metal se encuentra degradada por la corrosión se puede producir cortes de energía imprevistos, estos tipos de afectaciones ocasionan gastos irre recuperables en la economía de las empresas eléctricas, industrias y personas.

## **A3. Formulación de problemas.**

¿Pueden los recubrimientos a base de nanopartículas actuar como capas protectoras para disminuir pérdidas de eficiencia en los contactos eléctricos que trabajan con ambientes húmedos?

#### **A4. Justificación del trabajo.**

El proyecto va dirigido a industrias, empresas eléctricas, plantas de generación privada que se ven afectadas en sus instalaciones producidas por la humedad, con la finalidad de aumentar la vida útil en los contactos. En la actualidad, las industrias que están ubicadas en lugares húmedos padecen de fallas generadas en los equipos eléctricos, pueden ocasionar paros repentinos deteniendo a toda producción y suscitar pérdidas económicas.

Surge la importancia de buscar nuevas formas en los tipos de recubrimientos en base de nanopartículas para proteger las estructuras de los contactos, esto permitirá que las industrias, empresas y plantas adquieran una capa de protección en sus instalaciones con recubrimientos para que puedan disminuir el porcentaje de humedad en los contactos eléctricos.

El proyecto se enfoca en maximizar el tiempo de vida útil de los componentes presentes en instalaciones, para ello el uso de nanopartículas ha demostrado ser eficiente en contra de los problemas que causa la humedad en diferentes componentes metálicos. Además, se ha comprobado que estos recubrimientos son de fácil aplicación al estar en contacto con las estructuras metálicas eléctricas no protegidas en presencia de humedad.

#### **A5. Alcance**

El siguiente trabajo de grado se direcciona en el estudio de recubrimientos a base de nanopartículas, permitiendo ofrecer una capa protectora a la estructura metálica contra los efectos de humedad. Se realizará un diseño experimental bajo un ambiente controlado mediante una caja térmica con dimensiones 30 cm de ancho, 60 cm de largo y 30 cm de altura dentro de ella se encontrarán dos componentes con iguales estructuras, uno de ellos presentará un recubrimiento con nanopartículas y el otro componente no tendrá recubrimiento, se realizará el proceso para contactos eléctricos, herrajes, aisladores eléctricos.

Mediante el Arduino se programará el código de control de humedad y se deberá subirlos al microcontrolador, este interactuará con los sensores y enviará valores censados a la pantalla Lcd.

El sistema de control de humedad trabajará con un sensor DHCT-22 que tiene un rango de humedad relativa de 0% a 100%, con un error de  $\pm 2$  °C y el sensor de temperatura DS18B20 que trabaja en un rango de -45 °C a 125 °C con un error de  $\pm 2$  °C, una pantalla Lcd de 16 x 2 canales que funciona con librerías y el I2C para reducir el exceso de cableado, un vaporizador de agua que mantenga un ambiente húmedo.

Mediante el uso de los recubrimientos de nanopartículas se dará una propuesta de protección en las instalaciones expuestas a la humedad, como también de forma opcional se podrá implementar los recubiertos con nanopartículas en el laboratorio de potencia de la carrera de electricidad de la Universidad Técnica del Norte para alargar la vida útil en los contactos eléctricos.

#### **A6. Objetivo general.**

Estudiar la reducción de efectos ocasionados por la humedad sobre los contactos eléctricos, herrajes y aisladores eléctricos de acero, mediante el uso de recubrimientos a base de nanopartículas para disminuir pérdidas de eficiencia de las instalaciones eléctricas.

#### **A7. Objetivos específicos.**

- ❖ Describir el estado del arte de los diversos tipos de recubrimientos a base de nanopartículas como protectores superficiales contra los efectos de la humedad en el ambiente.
- ❖ Analizar los efectos de la humedad en contactos eléctricos, herrajes y aisladores eléctricos con y sin el recubrimiento de nanopartículas para medir el desgaste producido por la humedad mediante un ambiente controlado de humedad.
- ❖ Realizar una propuesta con el uso de recubrimientos de nanopartículas para la protección superficial contra a humedad en los contactos eléctricos, herrajes y aisladores eléctricos.

# Capítulo 1

## Nanopartículas protectoras en conflictos provenientes de humedad

Los efectos producidos por la humedad se generan en mayor cantidad en lugares de la Costa y Amazonia de país, por ende, para evitar que las estructuras, herrajes y contactos eléctricos sufran cambios en su estructura, es necesario utilizar una capa protectora superficial a base de nanopartículas que mitigara de en cierta cantidad el desgaste que se produce por estar expuestas a una humedad agresiva del ambiente.

### 1.1. Elementos de las instalaciones eléctricas

Las instalaciones eléctricas comprenden una variedad de circuitos eléctricos que permiten alimentar cargas capacitivas, inductivas y puramente resistivas, se debe asignar materiales y elementos adecuados cuando se realiza una instalación eléctrica, intervienen varios parámetros como voltaje, corriente y potencia, que sirven de utilidad para evaluar el consumo y saber que cargas se encuentra alimentando. En el ámbito laboral tenemos tres tipos de instalaciones como: instalaciones industriales, comerciales y residenciales, todo trabajo se debe desarrollar por técnicos o expertos que presenten conocimiento en la rama eléctrica.

Los componentes son la base para la formación de circuitos y se debe optar por seleccionarlos de forma adecuada, conociendo la utilidad que se le va a dar, las capacidades que soporta en parámetros de corriente, voltaje y la potencias a trabajar. Los elementos de instalaciones se integran en la industrial, edificaciones comerciales y residenciales.

#### ❖ Acometida

Comprende el punto de conexión del alimentador, ya sea aéreo o subterráneo otorgado por la empresa y el medidor que va a valorar el consumo de energía eléctrica del usuario. La acometida debe poseer puesta a tierra que va desde el medidor al suelo y el usuario por ninguna circunstancia deber realizar conexión a tierra utilizando la puesta a tierra de la distribuidora. Los terminales de la acometida deben ser protegidos por pararrayos y equipos que eviten un sobre voltaje en la red por las tormentas atmosféricas del ambiente. (Bratu & Campero., 2006)

### ❖ Equipos de medición

Su funcionalidad es otorgar valores de señales diferentes, pueden ser: voltaje, corriente, resistencia, potencia y frecuencia. Las mediciones pueden obtenerse de dispositivos analógicos o digitales y con base a los datos del fabricante se obtiene la exactitud de equipo. Además, el error que posee el equipo o dispositivo se va a designar que tan buena es nuestra lectura tomada y si se la puede emplear como una referencia de partida para la medición. (Transelec, 2013)

### ❖ Interruptores

Los interruptores tienen la funcionalidad de conectar y desconectar un circuito eléctrico cuando existen factores de sobrecarga y cortocircuitos, es ahí donde la parte interna del interruptor (electroimán) opera restringiendo el paso de alimentación a los circuitos designados de forma automática. Si ha excedido el valor de corriente al que trabaja el interruptor actuara en un lapso de segundos, Los interruptores más usados son los termomagnéticos o llamados comúnmente como breakers. (Condumex, 2009)

### ❖ Transformador

Se la conoce como máquina estática conformada por dos devanados o bobinas y un núcleo metálico, que permiten variar los parámetros de voltaje y de corriente, trabando como elevadores o reductores y manteniendo una misma frecuencia en un sistema eléctrico. A diferencia de los autotransformadores que tienen una conexión distinta al transformador, ya que sus bobinas no se encuentran conectadas. (Pèrez & Lòpez, 2018)

### ❖ Tableros

Los tableros eléctricos se consideran como los puntos de relevancia para la separación, distribución, medición y protección de circuitos, presenta una forma de armario o gabinete capaz de conectar una variedad de elementos eléctricos como interruptores, equipos de medición y conductores eléctricos, su construcción es muy variable dependiendo de la necesidad del usuario o del requerimiento de la industria. (Farina, 2019)

### ❖ Motor eléctrico

Se la considera una máquina eléctrica rotativa que convierte la energía eléctrica en energía mecánica, en el caso de los motores síncronos presenta rotor, estator y un campo magnético,

que aparece cuando el rotor busca alinearse con el estator, cabe recalcar que cal uno de ellos genera su propio campo magnético. (Chapman, 2012)

#### ❖ **Aisladores**

El aislador tipo tensor de porcelana es el soporte entre la estructura (poste) y el cable tensor que va por debajo del suelo, tiene gran resistencia mecánica, su función es de retener las líneas de media tensión. (CENEL.EP, 2017)

El aislador tipo line post de porcelana se emplea para aislar conductores eléctricos instalados en redes aéreas de distribución, por lo general se utilizan en zonas con alta incidencia de descarga atmosférica. (Cameleco, 2017)

#### ❖ **Herrajes**

Presentan una utilidad en las redes eléctricas aéreas que ofrecen una fijación al apoyo y alimentadores del sistema, su diseño está conformado por puntas o aristas en el extremo del contacto que se adhiere al conductor, brindando una excelente manipulación con las herramientas prestas a ser empleadas para trabajos en redes e instalaciones industriales con la finalidad trabajar a distancias seguras respecto de tensión eléctrica. (YAMPU, 2005)

Existen una variedad de herrajes eléctricos tanto para estructuras aéreas como son: conectores, arandelas, crucetas, tuercas de ojo y abrazaderas.

#### ❖ **Tuerca de ojo**

La tuerca de ojo permite sujetar los aisladores de suspensión, esto gracias a la perforación roscada en el centro de la tuerca. Además, presenta una argolla, lo que permite el agarre de tornillos para integrar un elemento de la red de distribución eléctrica. (Terrell Croft, John H. Watt, Clifford L. Carr, 1994)

#### ❖ **Arandelas**

Las arandelas se fabrican de piezas hechas de acero galvanizado con un agujero en el centro, lo que 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)

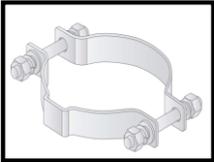
## ❖ Aisladores

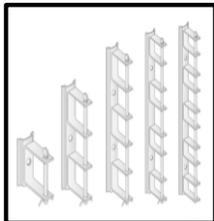
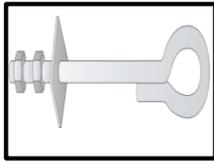
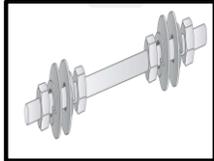
Se posicionan en los sistemas eléctricos de distribución para evitar que la corriente no fluya por cuerpo sólido, presenta una conductividad variable, esto sucede cuando el incremento de intensidad de campo se eleva, su conductividad ascenderá. Si la intensidad de campo eléctrico trabaja con valores sumamente elevados produciendo un valor de ruptura. (Marín, 2021)

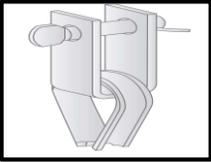
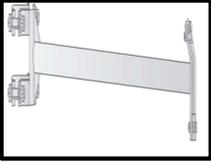
### 1.2. Estructura de los componentes.

Existe una infinidad de componentes eléctricos que adquieren un material diferente para ser construidos, para ello se opta por realizar un proceso para su obtención de manera diferente, siendo algunos elementos mucho más resistentes que otros, he incluso pueden trabajar en conjunto para formar estructuras que desempeñan una determinada función, un claro ejemplo son los herrajes que se emplean como punto de conexión en las líneas aéreas eléctricas.

TABLA 1.1 Características esenciales de los herrajes eléctricos.

Nombre	Elemento	Dimensión	Utilidad	Fabricado	Foto
Abrazadera 2 pernos	- Platina - Perno Esparrago	Diámetros más comunes de 140 mm, 160 mm, 180 mm, 200 mm.	Sirve para la sujeción al poste de hormigón de elementos de soporte en líneas eléctricas aéreas	Hecho en una plancha de acero laminado al caliente, uso de referencia norma INEN 2215 Y 2222	
Grapa aleación de aluminio tipo Pistola	- Herrajes - Pasador en varilla de acero	Tamaño en 2/0 y 4/0	Permite unir los conductores	Hecho de aluminio galvanizado de alta resistencia, norma ASTM A123	

Perno pin Galvanizado o espiga corta	- Platinas - Varilla lisa - Tuerca y rodela	Tamaño en ¾ o 1/2	Sirve para la sujeción de los aisladores de porcelana	Elaborado con platina laminada y varilla lisa trefilada al caliente, cumple con la norma ASTM A283	
Bastidor de acero galvanizado o 5 vías	- Tapas y anillo central - Pernos - Tuercas - Recubrimiento - Empaque	Tamaño 50 mm, 100 mm, 160 mm	Uso como soporte de aisladores tipo carrete en redes aéreas, sirve de soporte para el hilo de guarda o neutro	Fabricado en acero laminado, el proceso de galvanizado es por inmersión, norma INEN 2215	
Varilla de anclaje	- Pletina - Barra redonda	Pletina 100 x 100 x 6 Barra redonda 15 mm Y 18 mm	Uso para el anclaje de estructuras en redes y líneas de distribución	Fabricado en material de acero estructural en caliente de alta resistencia, norma INEN 2215	
Perno Esparrago	- Alambroón - Accesorios de sujeción	El espesor del galvanizado de 45 micras	Uso para el armado de estructuras en líneas y redes de distribución	Fabricado con material de acero estructural laminado, norma INEN 2215	

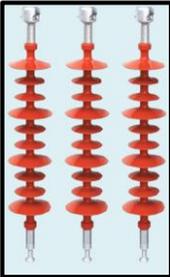
Cruceta	- Acero	Espesor del galvanizado de 75 micras	Uso para anclaje del conductor central en estructuras especiales, en líneas y redes aéreas	Fabricado con acero estructural laminado en caliente de alta resistencia NTE INEN 2215	
Grapa horquilla guardacabos	- Pletina - Guardacabos	Espesor de galvanizado de 75 micras	Uso para cadenas en aisladores de líneas aéreas	Fabricado con acero estructural laminada en caliente de alta resistencia, norma INEN 2215	
Tensor farol	-Pletina - Abrazadera - Perno rosca corrida	Espesor galvanizado de 75 micras	Uso para soporte de cable tensor o tensor de retenida	Fabricado con acero estructural laminada en caliente de alta resistencia, norma INEN 2215	

---

Fuente: (Galvalnorte, 2003)

Los herrajes presentan una construcción con normativa nacional e internacional dependiendo de las necesidades que se ajuste al instalador y para que los herrajes puedan llegar al mercado se debe ejecutar pruebas para identificar cuáles son sus niveles de quiebre o de ruptura al estar trabajando en condiciones extremas., las normas que se mencionan tanto nacionales e internacionales son: INEN 2215 Y 2222, ASTM A123, norma ASTM A283, norma INEN 2215.

TABLA 1.2. Características esenciales de los aislantes eléctricos.

Nombre	Descripción	Propiedades	Utilidad	Fabricado	Foto
Aislador de suspensión compuesta	Presenta un peso liviano, volumen pequeño, irrompible, cuenta con una tensión mecánica de largo alcance	- Voltaje: 10-1000 kV - Carga mecánica: 40-530 kN - Distancia de fuga: 270-340000 mm - Norma: IEC62213	Uso en áreas muy contaminadas y de carga elevada, Líneas de transmisión o distribución, torres de suspensión.	Fabricado a altas temperaturas, acoplado a la varilla y su modelo es por compresión	
Aislador de postes en línea compuesta	Presenta un rendimiento de hidrofobicidad y anticontaminación, alta resistencia mecánica y es de fácil instalación	- Voltaje: 10-220 kV - Carga mecánica: 6-22 kN - Distancia de fuga: 245-7595 mm Norma: IEC61952	Uso en las líneas de transmisión de alta tensión y líneas de distribución, construcción para barras colectoras y desconectores	Fabricado con el calentamiento de altas temperaturas, Tiene una varilla de fibra reforzada y su modelo es por compresión	
Aislador de pin compuesto	Posee una clavija con alta resistencia a la flexión y resiste a los golpes	- Voltaje: 10-35 kV - Carga mecánica: 42-125 - Distancia de fuga: 180-126 mm	Sirve para soluciones de industria, construcción de plantas, barras colectoras y desconectores	Elaborado a altas temperaturas, posee una varilla de fibra de vidrio y su modelo es por compresión	

Norma:  
IEC61109

Aisladores de poste de la estación de porcelana

Presenta una resistencia al rastreo y erosión, intemperie, resistividad de volumen y en la atmosfera

- Voltaje: 10-1100 kV  
- Altura máxima: 12000 mm  
- Nivel de contaminación: hasta 38 mm

Norma: C130

Uso en industria, construcción de plantas y soporte de plataforma para bancos en los condensadores

Elaborado por un método mojado, método isostático y lo respalda la



Aislador de poste de línea de porcelana

Posee una forma columnar, su instalación es rígida y va colocado en conductores de apoyo

- Voltaje: 10-1100 kV  
- Altura máxima: 12000 mm

Uso en distribución eléctrica y transmisión

Se fabrica bajo la norma IEC60383, según el requerimiento del cliente



Aislador de disco de porcelana

Los aisladores de disco son los más utilizados en la transmisión de energía a nivel mundial

Resistencia al rastreo y erosión del ambiente, degradación mínima en ambientes rudos.

Uso para líneas aéreas de transmisión y distribución. Se trabaja en las torres de suspensión para sujetar las cuerdas de los conductores suspendidos

Su fabricación se debe a la norma IEC 6083



Las normas que se rigen para la construcción de los aisladores son internacionales y cada país debe de cumplir con la normativa para la elaboración de aisladores y que puedan llegar al mercado como productos certificados por normativa las normas mencionadas son: IEC62213, IEC61952, IEC61109, IEC60383 y IEC6083.

### **1.3. Humedad**

El fenómeno ambiental afecta en los componentes y partes metálicas que pasan de su estado natural a formar parte de objetos afectados por la corrosión, generando a su vez pérdidas económicas, estos contaminantes puede ser sulfatos, cloruros y humedad relativa que se encuentra latente en todo momento, en las líneas de transmisión y distribución eléctrica se observa el deterioro palpable de las superficies, esto puede reducir el grosor en su área fracturada y con esto influenciar en la disminución de resistividad del material. (Molina, Villada, & Mesa, 2011)

La corrosión producida por la humedad se debe al deterioro de sustancias que suele afectar al metal, por el motivo de interactuar con el medioambiente, además no se pueden presentar cambios visibles en el material, pero se puede presentar fallas en el material inesperadamente a causa de ciertos cambios en lo que respecta a su estructura interna.

#### **❖ Problemas de humedad**

La humedad es producida por el agua, puede ocasionar a los materiales deterioros como es la oxidación y esto a la vez reducen su durabilidad y su resistencia. Existen diferentes tipos de humedad que se puede encontrar en las diferentes construcciones:

#### **❖ Humedad ascendente**

Este tipo de humedad es producida por el agua que se encuentra en terrenos que asciende a las diferentes estructuras hasta una cierta altura, causada por el fenómeno de capilaridad, provocando daños en los materiales. (Pipiraite, 2016)

#### **❖ Daños ocasionados por la humedad**

1. Condiciones de la superficie se produce por la falta de limpieza de la superficie y

presencia de materia extraña ocasiona una fuerte influencia en el comienzo y desarrollo de la corrosión iniciada por la humedad.

2. Efecto de la temperatura al incrementarse eleva la tasa de corrosión, de tal manera que la temperatura aumenta la cinética de las reacciones.
3. Diferencia de potencial se presenta en los materiales expuestos a las mismas condiciones, tales como es el zinc que se expone en agua salada, el metal con un valor potencial mayor de oxidación se corroerá y protegerá al metal con potencial de menor oxidación.
4. La erosión por sí misma no es considerada corrosión, pero en condiciones abrasivas es posible la remoción de la película de protección del metal, de tal manera que lo dejaría expuesto directamente al deterioro. El ambiente posee contaminantes que al encontrarse en presenta concentraciones bajas, el material presenta un mayor comportamiento de la corrosión que las sustancias presentes en concentraciones elevadas, concluyendo de esta manera que algunas veces las impurezas pueden acelerar el ataque en la corrosión del material, pero que en otras ocasiones pueden comprenderse como sustancias inhibidoras.
5. En lo que respecta al tiempo de corrosión, se determina que la relación será lineal, es decir, que conforme el tiempo de exposición incrementa de igual manera incrementa la tasa de corrosión, en otras ocasiones la tasa de corrosión suele disminuir o permanecer constante en un determinado valor.
6. Los efectos biológicos son considerados a los organismos macroscópicos y microscópicos en la corrosión de los materiales cuando se crea obstrucciones sobre la superficie, produciendo celdas de aireación diferencial y como también el absorbimiento hidrogeno de la superficie en acero, el cual es el factor de protección contra la corrosión.  
(Cueva, 2007)

### **1.3.1. Factores que influyen en la humedad**

Se debe tener en cuenta que al impregnarse o adherirse una cierta cantidad de agua en una estructura o componente metálico se formaran la condensación producida por la humedad, esto sucede cuando el metal se encuentra en temperaturas bajas que inicia con el punto de rocío, llegando a tener una humedad relativa del 100% afectando grandemente al componente sólido.

#### ❖ **Condensación intersticial**

Se originan por tener objetos en un ambiente cerrado, causado por temperatura en el interior de un recipiente o caja que lo contenga al objeto, además depende del vapor de agua que se produce en el interior, un claro ejemplo viene a darse en las tuberías de agua fría metálica que se alojan en los sedimentos como son los tabiques. (Argidom, 2002)

#### ❖ **Condensación por absorción**

Se presenta cuando las moléculas de agua y el metal reacción por atracción, se debe tomar en cuenta el porcentaje de humedad relativa que va desde el 60% al 80% del espesor de la película que se puede generar, esto no produce una fractura o daño grave en el metal por no tener un nivel elevado de corrosión. (Lias, 2005)

#### ❖ **Condensación capilar**

Se produce por la transición o interfaces de estado líquido a gas, se pueden modificar aplicando acciones de tensiones superficiales en ellos, al irse creando más tensiones superficiales en la estructura sólida el líquido empieza a elevarse teniendo una forma convexa y llegando a mojar al sólido en pequeñas porciones. (Valencia, 2020)

### **1.3.2. Afectaciones de la humedad en los sistemas de distribución eléctrica**

Uno de los efectos más relevantes y de mayor problema es designado por la presencia de humedad, se nota claro ejemplo de afectación en los puntos de conexión en los alimentadores y los contactos eléctricos a la entrada de una subestación, la humedad se produce por diversas causas como: el calor que genera equipos de almacenamiento como baterías, descargas eléctricas que conllevan un ambiente elevado de humedad, fugas de agua y agua estancada en zanjas. La subestación debe construirse de forma sólida y con recubrimientos herméticos que soporte ambientes extremos en el entorno. (Geonaga, 2019)

Se presenta humedad en edificios que pueden afectar a instalaciones eléctricas como tomacorriente, interruptores, contactos eléctricos y estructura de construcción que sufren un riesgo de electrocución, inicio de cortocircuitos que afecta a la persona sufrir un riesgo inminente en sus hogares. (MURPROTEC, 2012)

Además, la presenta otros factores de daño en los dispositivos electrónicos, genera oxidación en materiales metálicos, para evitar esos problemas se opta por encontrar una manera de proteger las instalaciones, en zonas de lugares o zonas calidad existe una mayor presencia de humedad. (Deshumificador, 2014)

#### ❖ **Corrosión grado 1**

Se producen en las atmósferas costeras, la cual se caracteriza por presentar pines de un color beige en su superficie, como también presentan óxidos de hierro en forma de puntos pequeños con un color café rojizo, lo que respecta a la cara opuesta a los vientos puede presentar muy poca afectación del recubrimiento de cinc. (Maya, 2021)

#### ❖ **Corrosión grado 2**

En este grado de corrosión los elementos presentan un color café oscuro, generado en las superficies de sus caras más afectadas y en presencia de algunos casos, el óxido se presenta de forma laminar (exfoliación), teniendo en cuenta un desgaste hasta del 20% en el diámetro original de los pines de aislamiento. Se caracteriza los vientos predominantes que pueden presentar desde muy poca afectación en el recubrimiento de color beige, con puntos pequeños de óxidos de hierro. (Maya, 2021)

#### ❖ **Corrosión grado 3**

Este grado de corrosión es el más crítico, presentándose en un desgaste severo del acero y de los productos de corrosión localizada o en forma circular, en algunos casos la cara más afectada presenta un desgaste lateral superior al 20% en el diámetro original. Estos elementos han perdido en gran medida las características de resistencia mecánica originales y deben ser sustituidos lo más pronto posible. El criterio de tres grados de afectación se puede aplicar en otros componentes. (Maya, 2021)

En elementos como las placas informativas, el criterio utilizado es el de la funcionalidad del elemento; por ejemplo, el “Grado 1” de corrosión indica que aun cuando se observa corrosión en cualquier parte de la superficie, el mensaje se puede leer perfectamente; el “Grado 2” de corrosión, indica que el mensaje se puede leer con algún grado de dificultad, y el “Grado 3” de corrosión, indica que el mensaje no se puede leer debido al ataque corrosivo.

Cuando se definen los grados de corrosión, se debe tener en cuenta que no solo van a indicar la condición física de los elementos, sino que también indicarán el tiempo aproximado en el que la compañía deberá programar los recursos técnicos y económicos para el mantenimiento. (Maya, 2021)

#### 1.4. Nanotecnología

La nanotecnología trabaja a escala manométrica con átomos y moléculas, por medio procesos y productos de diversos materiales que se relacionan con nuevas tecnologías de la rama de medicina, sector energético, dispositivos informáticos y agricultura. (Medina, Galvan, & Reyes, 2015)

En la Fig. 1 se observa los tamaños de los objetos con tamaños distintos a escala que va desde los metros hasta ir reduciendo el tamaño en partículas manométricas que tenemos como ejemplo hebras de ADN con un grado pequeño de 2 nm y átomos de grafeno con porciones de 0.25 nm para llegar a estos micro valores el material debe de realizar procesos químicos y físicos para ir reduciendo su tamaño y aumentando su consistencia mediante las configuraciones que se requiera.

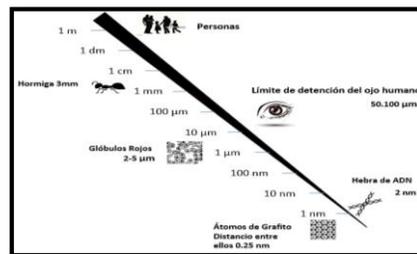


Fig. 1. Medidas Nanométricas  
Fuente: (Sandra, 2018)

La nanotecnología avanza a nuevos rumbos en donde la búsqueda de materiales se ha vuelto una competencia para el mejoramiento de dureza, magnitud, resistencia y desgaste que a su vez permitió brindar diversas protecciones, mediante la construcción de recubrimientos que hacen un mundo lleno de aplicaciones para la demanda de estas capas protectoras. (Infocorrosión, 2019)

Se conoce que nanotecnología seca se relaciona con los procesos físicos y químicos de los materiales orgánicos, trabaja con estructuras de carbono y síntesis para elaborar nanotubos de silicio, mientras que la nanotecnología húmeda trabaja con materiales inorgánicos formados por metales y semiconductores, capaces de conducir electrones en ambientes húmedos, disponibles para equipos electrónicos usados en circuitos y procesos visuales. (Aspiazu, 2011)

En la Fig. 2 se observa la aplicación que puede llegar a tener nano recubrimiento ante la presencia del agua que no afecta a una superficie del material que tiene como estructura protegida por aditivos o pintura anticorrosiva.

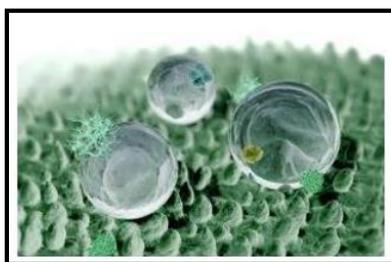


Fig. 2. Nano recubrimiento  
Fuente: (Maya, 2021)

La nanotecnología ha invertido sus recursos económicos en la elaboración de nanomateriales, que alcanzaran el monto de 100 millones de dólares en el año 2025. Presentan varias utilidades en el mundo por las propiedades físicas y químicas, se desarrollan diversas aplicaciones útiles para la sociedad. (Allan et al., 2021)

#### **1.4.1. Nanopartículas**

Se comparan a las nanopartículas con una hormiga serían muy diminutas, imperceptibles al ojo humano, ya que para ello se utilizaría un microscopio que se aplican en la industria textil, construcción, automotriz y protección de rayos UV. (UNAM, 2020)

Las nanopartículas se crean para aplicaciones de ingeniería, contienen tamaños que van desde 1 a 100 nm dependiendo del material trabajado. Se clasifican como: naturales, amorfas, incidentales, cristalinas y poliméricas, capaces de superar los desafíos relevantes para nanotecnología. (Polo, 2013)

Las nanopartículas adquieren un vasto campo dependiendo si el material es orgánico o inorgánico, se puede trabajar con materiales en estado sólido y líquido para formar partículas

con peso reducido, dureza fiable y conductividad para el transporte de electricidad. La industria trabaja para convertirlas en catalizadores que ayudan a la ejecución de múltiples procesos petroquímicos, equipos para medición de líquidos químicos y dar solución a problemas generados por procesos de combustión. (Morales, 2015)

Las nanopartículas metálicas de oro (Au) y la plata (Ag) son las más conocidas y con mayor interés para los investigadores, esto sucede gracias a sus propiedades ópticas que pueden trabajar con tamaños y formas extremadamente pequeñas. Estas propiedades ópticas se dan por la interacción colectiva de electrones al estar en la presencia de radiación y que dependen significativamente de su composición. (Pellegrotti, 2015)

En la Fig. 3. Se observa la obtención de un método físico llamado de arriba hacia abajo (top-down), que consiste en enfocarse al tamaño del metal, para ir reduciendo con múltiples subdivisiones consecutivas hasta llegar a escala manométrica y el otro químico que se encuentra definido como de abajo hacia arriba (bottom-up) se desarrolla a partir de tamaños microscópicos como los átomos para ser configurados y llegar a incrementar el tamaño de las partículas. (Gomes, 2016)

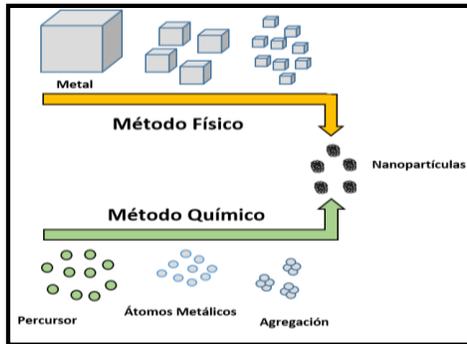


Fig. 3. Obtención de Nanopartículas Metálicas

#### 1.4.2. Método Top-down

Se utiliza el método para diseñar y disminuir el tamaño de la estructura del material, obteniendo elevadas cantidades de nanopartículas para aplicaciones de la nanoelectrónica que disminuye el circuito con componentes pequeños y en la construcción de molinos ultrafinos. La desventaja más notoria es que no se puede contar con el control del tamaño definido cuando se busca la exactitud y precisión requerida de la partícula. (Gómez, 2013)

Posee características que ofrecen como resultado un sustrato, un claro ejemplo se localiza las haces los electrones que se aplican en los procesos de gravado de características nanoscópicas. (Minelli, 2004)

### **1.4.3. Método *bottom-up***

El método muestra la formación de las estructuras u objetos compuestos por átomos y moléculas, parten de precursores que está en estados de fase sólida, líquida y gaseosa para someterse a procesos químicos que puedan controlarse un tamaño preciso y un acabado fino del material. Un proceso recomendado es la suplección coloidal mediante la síntesis de nanopartículas. (González, Zarzuela, & Lama, 2011)

Se lo conoce como el método de Auto ensamblado Electrostático, donde se opta por el ensamblado de moléculas para crear películas muy finas que se controla la composición y espesor de la magnitud molecular del material. Se encuentran ventajas de versatilidad de los recubrimientos nanoestructurados sobre la fibra que se adquiere mediante la técnica Layer- by-Layer (deposición capa por capa). (Albella, 2019)

## **1.5. Recubrimientos Nanotecnológicos**

Los recubrimientos de un material muestran mejoría en las propiedades de aislamiento eléctrico y térmico, resistencia a ambientes expuestos a la humedad, corrosión y aumento en la dureza de su estructura superficial, capaces de evadir o repeler el agua de forma momentánea a este fenómeno se lo conoce como hidrofobicidad. Además, brinda una protección al objeto que alarga la vida útil y reduce los efectos que pueden sufrir como envejecimiento, desgastes o fracturas producidas por factores del ambiente. (Sandoval & Escamina, 2020)

En la Fig. 4 se observa que el nanorecubrimiento viene en un recipiente metálico para conservar su densidad, la capa protectora es de color amarillo, la parte gris que vendría siendo el material protegido del agua que intenta infiltrarse en su estructura y por último tenemos las gotas de agua que buscan el acceso, pero no pueden gracias a las nanopartículas hidrofóbicas.

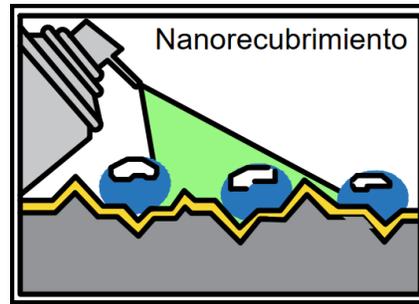


Fig. 4. Nanorecubrimiento hidrofóbico

### **1.5.1. Recubrimientos a base de nanopartículas**

Los recubrimientos forman capas protectoras que actúan inmediatamente en 1 o 2 horas al penetrar en el objeto, pueden encontrarse en infinitas aplicaciones de la industria y más aún cuando se trata de reducir su tamaño a escala nanométrica, un claro ejemplo es el recubrimiento del látex sintético que ha batallado con la humedad, oxidación y corrosión. Inicialmente usados como solventes que a pesar de demostrar su efectividad no fueron muy amigables con el medio ambiente por ser contaminantes, para ello ha obligado a la industria a buscar nuevas alternativas de tecnologías limpias. El látex mezclado con el agua permite sintetizarlo para formar nanopartículas poliméricas, mediante pruebas espectroscópicas se ha llegado a obtener un tamaño de 450 y 500 (n.m.) que se adherían fácilmente al material. (Montesinos, Romero, Pliego, & Vazquez, 2010)

### **1.5.2. Recubrimientos autorreparables**

La auto reparación consiste en identificar fisuras y sellarlas sin que terceras personas intervengan en el proceso, se crearon para materiales frágiles y polímeros que están compuestos de un líquido reactivo que se disuelve para formar una parte de material fracturado, solidificando la lección que presentaba con anterioridad el material.

Los recubrimientos auto reparables se los conoce como materiales inteligentes capaces de regenerar su estructura cuando sufren desgastes o fracturas y emiten líquidos en la superficie afectada llamados aditivos para ofrecer nuevas partículas que remplazaran a las deterioradas. Las nanocápsulas son el mejor ejemplo para mencionar, por presentar soluciones de auto regeneración y resistencia a la humedad, oxidación y corrosión conservando la transparencia del material protegido. (Patiño, cienciamxNoticias, 2016)

En la Fig. 5 se muestra una ruptura en el centro del objeto y dar solución, se utilizan los recubrimientos con propiedades de reparación que ocupen el espacio deteriorado, con ayuda de un polímero que actúa al calentarse la temperatura ambiente del objeto, convirtiéndolo en un sólido capas de adherirse a la fisura afectada.

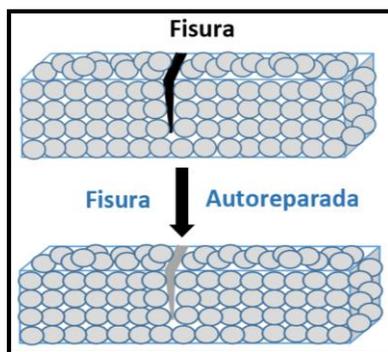


Fig. 5. Fisura Afectada

### 1.5.3. Recubrimientos orgánicos

Se forman a partir de polímeros y resina ya sea natural o sintética, posee una estructura líquida que al ser aplicado requiere de un tiempo para que se adhieran, se trabaja con pinturas, barniz, recubrimiento para la industria, se ejecutan diferentes pruebas de corrosión y oxidación para calificar el comportamiento y revisar sus cambios que van teniendo al encontrarse en ambientes de humedad. (Lora, y otros, 2010)

Las pinturas funcionan como capa protectora que están expuestas a contaminantes en el aire, lluvia y fenómenos climáticos, va degradándose con el paso del tiempo llegando a generar cadenas poliméricas que deterioran al recubrimiento, produciendo cambios de rugosidad, fragilidad y pérdida de brillo. Los investigadores realizan análisis descriptivos para comparar las propiedades actuales con las que puede llegar a tener en condiciones ciertas que permiten determinar la duración que tendrá antes de que ocurra una falla. (Bermúdez, Castaño, & Echeverría, 2012)

Además, los recubrimientos orgánicos con cargas orgánicas disminuyen el porcentaje del desgaste que se produce por presencia humeada, se emplea en una variedad de aplicación para la industria que con el paso del tiempo se han modificado la magnitud de las cargas llevándolos a valores micrométricos para encontrar una reducción en el espesor y profundidad de las

partículas mejoran la deformación elasticidad y dureza del material. (Pilar, Gilabert, & Sanz, 2014)

En la Fig. 6 se observa la aplicación de los recubrimientos en la industria, el trabajador impregna la superficie interna de un tubo colocándole una capa protectora que está hecha de pintura anticorrosiva con polímeros que poseen cadenas de protección contra la corrosión y la oxidación que amenaza la parte interna del material metálico.



Fig. 6. Recubrimientos Orgánicos Industriales  
Fuente: (Euroquímica, 2018)

#### **1.5.4. Recubrimientos electrolíticos**

Se realiza en piezas que están inversas y rociadas con corrientes para realizar el proceso catódico en los partes metálicos que protejan contra la corrosión, son muy utilizados para el área de construcción, herrajes, joyerías y estructuras metálicas. Se crean tomando metales de cromo, oro, níquel y cinc que actúen al generarse procesos químicos para optar por las protecciones anticorrosivas. (Industrial, 2018)

El recubrimiento se consigue con utilización de bastidores y electrolitos al estar en contacto con corriente eléctrica, tiene la ventaja de ser resistentes al desgaste al compararlos con el cinc de lamer que es un método de centrifugado donde se aplica líquidos solventes sin la intervención de corriente eléctrica, se emplea en aplicaciones para el uso de estructuras, partes y componentes de la industria automotriz. (Hulse, 2019)

#### **1.5.5. Recubrimientos nanoestructurados**

Se pueden optar por las aleaciones de proyecciones frías donde este recubrimiento se adquiere en polvo, poseen una alta densidad y forma cristalina, en el caso de algunos metales con naturaleza resiste al compactamiento cinético y de las partículas. El resultado del recubrimiento puede involucrar la aparición de oxidaciones no deseadas que debilitan y llegando

a la ruptura, esta técnica adquiere materiales reactivos por la deformación plástica para obtener capas de sustratos que disipan el calor (Bedoya, Cinca, & Guilemany, 2013)

#### **1.5.6. Recubrimientos a base de nanomateriales cerámicos**

Se sintetizan mediante procesos de fase gaseosa, espray, plasma e incluso abrasión de láser para producir una mezcla de evaporación y trabajé a elevadas temperaturas, pero aún no se encuentra produciendo a gran escala por la falta relevante de investigación pertinente de cómo va a reaccionar al ser elegidos por la industria. Su magnitud de partícula dependerá de los procesos químicos a los que se va a someter para su obtención, se puede extraer de forma líquida y amorfa para llegar generar la polimerización de un gel simétrico. (Andrade, Díaz, & Cortés, 2013)

Presentan compuestos únicos formados por su estructura atómica que tienen enlaces covalentes con dimensiones manométricos que cambian sus propiedades iniciales del material, pueden ser los nanotubos de carbono y grafeno los cuales cuentan con excelentes propiedades de conductividad, resistencia térmica, oxidación y mayor dureza. Realizan valiosos experimentos que benefician a la industria acoplándose a las demandas de trabajo. (Pereira, 2017).

Presentan propiedades tribológicas, resistencia a la abrasión, conductividad de ser nanotubos de carbono, deberá poseer una geometría en su magnitud y tamaño que oscila de 50 nm a un valor de 150 nm y con una longitud 800 nm en partículas metálicas que emplean protección a metales.

También su utilidad se acoge a la rama de la medicina para detectar anomalías en los ganglios linfáticos, estos poseen un diámetro estimado de 150 nm que permitirá el ingreso a los vasos sanguíneos para detectar los dolores abdominales, fiebre y otros síntomas de infección que presenta el paciente.(Q Wang, 2021)

#### **1.5.7. Recubrimientos hidrofóbicos**

Presentan una modificación química y construcción de plasma, para evitar que el material absorba el agua y se quede solo en su superficie y no afecte a la contextura interna, para ello se toma en cuenta el ángulo de contacto que ofrece el líquido en la parte externa. Se los considera

recubrimiento hidrofóbico cuando ángulo es  $90^\circ$  en adelante y si es superior a los  $150^\circ$  se lo define como súper hidrofóbico. (Cobado, 2018)

En la Fig. 7 se observa el comportamiento de los grados hidrofóbicos con la superficie externa del objeto, las semicircunferencias verdes presentan una protección útil, pero no mantiene toda la gota del líquido en una sola partícula, mientras que las circunferencias amarillas se preservan intactas al estar en contacto con superficies ya sea lisa o de formas diversas.

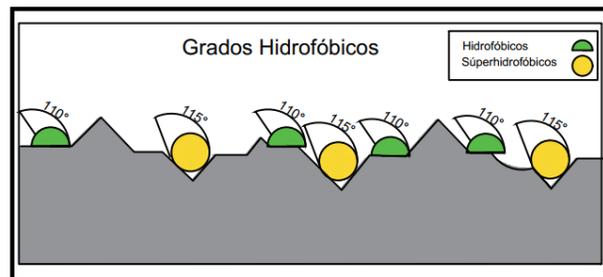


Fig. 7. Grado Hidrofóbico en la superficie

## 1.6. Recubrimientos Nanotecnológicos libre de corrosión

Un estudio realizado por Efraín Rosas menciona que se está trabando en laboratorios para la creación de nanorecubrimientos que puedan actuar al estímulo que sufra un objeto y actuar de manera inmediata. Además, se enfrenta con los retos de llegar a combinar plásticos con metales que permitan brindar una mayor protección contra la humedad y corrosión que se genera en el ambiente (Patiño, CienciaMx, 2016)

### 1.6.1. Recubrimientos Superhidrofóbicos

Presenta una propiedad llamada mojabilidad la cual consisten en identificar la permeabilidad que tienen al mojar una estructura sólida con un líquido, se la compara con una hoja de loto donde su formación presenta un ángulo mayor a  $150^\circ$ , quiere decir esto que cuando el agua hace contacto con su haz, las partículas de agua no se unen ni se pegan por la inclinación que presentan dando un excelente desprendimiento del agua en la superficie de la hoja. (Ortiz, Gonzales, & Vladez, 2019)

Su construcción se debe al desarrollo de métodos híbridos implementados que consiguen el cambio químico y pulverizado en los recubrimientos que poseen rasgos de notable estabilidad, tamaño controlable y síntesis al proceso desarrollado que con en sintetizar partículas de ZIF-8 a

temperatura constante adhiriendo perfluorooctiltrietoxisilano en la superficie que mejorara el grado hidrofóbico de 150° a 168,2°. Esto garantizará el control de las partículas de agua, un claro ejemplo es el roció en el papel de lija de agua el cual no presenta ninguna humectación en el papel. (Mora, 2020)

### **1.6.2. Aplicaciones de los nanorecubrimientos**

La nanotecnología permite encontrar soluciones novedosas, lo cual permite una mejorar en el recubrimiento para materiales, lo que trata de adquisición de protagonismo en la proyección en la economía mundial.

La nanotecnología en la actualidad es una disciplina científica-técnica con el fin de estudiar materiales, partículas y estructuras que involucran la creación de elementos que tienen una dimensión espacial inferior a los 100 nm. Los materiales constituidos por estructuras tan pequeñas presentan propiedades distintas a los materiales tradicionales, independientemente que se compongan por los mismos componentes químicos, de tal manera que presentan propiedades mecánicas, ópticas, químicas, magnéticas o electrónicas.

#### **Recubrimientos para componentes sometidos a altas temperaturas de operación**

Al utilizar materiales cerámicos nanoestructurados puede disminuir el problema que sucede cuando el único recubrimiento presenta una baja porosidad (alrededor del 1%), y por tanto altas prestaciones mecánicas, con una elevada resistencia térmica.

En la actualidad se desarrolla materiales cerámicos nanoestructurados que al aplicar en forma de recubrimiento sobre los componentes de motores de aviación como son: los alabes, permitiendo así incrementar la temperatura de operación en más de 50° C y como también alargando igualmente el ciclo de vida, alrededor de 10.000 h de tal manera que alcanza una resistencia al desgaste de 3 veces superior a los recubrimientos convencionales.

#### **Tratamientos de superficies de piezas metálicas sometidas a desgaste**

Las piezas metálicas sometidas a fricción como rodamientos o engranajes, entre otras, sufren continuos procesos de desgaste y corrosión que limitan su vida útil. El tratamiento para proteger las superficies expuestas a desgaste son una alternativa para mejorar el rendimiento y aumentar la duración de las piezas. Entre los tratamientos para la superficie de los materiales se puede

utilizar el bombardeo de haces de iones y la preparación de recubrimientos mediante láminas delgadas o multicapas.

El tratamiento por haces de iones, la pieza a tratar se introduce en una cámara de alto vacío donde se bombardea con iones. La energía, el flujo y el tipo de ion se selecciona adecuadamente para que la composición, estructura y morfología de las capas más superficiales de la pieza aumente la dureza de su superficie y mejore la resistencia al desgaste y la corrosión.

El tratamiento de la pieza se lleva a cabo teniendo calentamientos normalmente inferiores a 150 °C, e incluso es posible realizar a temperatura ambiente controlando las dosis de implantación.

El recubrimiento consiste en depositar sobre el material una fina capa de material de elevada dureza y/o bajo coeficiente de fricción, de tal manera que aumente la resistencia al desgaste de la pieza, contribuyendo de esta manera al coeficiente de fricción, las temperaturas de trabajo, consiguiendo así reducir el proceso de oxidación y corrosión.

#### ❖ **Materiales antifricción**

Los materiales de contactos antifricción dependen, por un lado, de la tendencia y la velocidad en el desarrollo tecnológico y, por otro, de las políticas medioambientales, la cual esta última demanda disminuye el consumo energético y las emisiones contaminantes, de tal manera que los materiales a futuro han de ser ligeros y autolubricados, pero con baja resistencia a la fricción y sin desgaste. El grafito debido a su estructura cristalina tiene excelentes propiedades autolubricantes. Incluso en seco, su coeficiente de fricción entre un material de carbono/grafito y contracara de rozamiento es reflejantemente bajo, por lo que el deslizamiento entre caras es satisfactorio. Además, posee una alta estabilidad a altas temperaturas y es inactivo a gran cantidad de agentes químicos.

Mediante el uso de material de carbono nanoestructurado se suele conseguir componentes autolubricados que no presenten desgaste durante su vida útil de servicio del equipo y de tal manera que presenten mejores rendimientos mecánicos que los materiales utilizados tradicionalmente.

### ❖ **Nanofiltración**

La nanofiltración se caracteriza por tener membranas que poseen un tamaño de poro del orden del nanómetro y con frecuencia, carga eléctrica negativa. Son membranas poliméricas que operan en un intervalo de presiones comprendido entre 0.3 y 1.4 MPa (3 a 14 bar), teniendo así un rechazo al NaCl comprendido entre 0 y 20 %, por lo que se emplea para la desmineralización parcial de disoluciones o para separaciones selectivas. (itma, Oviedo, & INCAR, 2014)

# Capítulo 2

## Efectos de humedad en contactos y estructuras eléctricas

Uno de los fenómenos físicos que se produce en el ambiente es la humedad, que afecta progresivamente a estructuras, herrajes y contactos metálicos por presentar el desgaste del recubrimiento inicial y encontrarse expuestos a un elevado ambiente de humedad agresivo que en cualquier momento puede producir accidentes o fallas inesperadas.

### 2.1. Introducción

En el presente capítulo se desarrolló el diseño de un ambiente controlado de humedad para evidenciar las afectaciones que produce la humedad en estructuras metálicas, las mismas que posteriormente serán analizadas mediante diferentes métodos para evaluar el estado anterior y posterior. Para ello se debe roció una de las piezas con los recubrimientos protectores a base de nanopartículas en la superficie externa del material metálico y otra se dejó intacta como instrumento de control.

En este proyecto se contemplan varias etapas o fases, inicialmente se debe obtener las nanopartículas protectoras, con ayuda de un método o proceso químico y utilizarlas en las piezas, luego de esto se requiere de la programación en Arduino para crear el sistema de control de humedad, para ello se optó de sensores y una pantalla LCD que muestren valores censados de humedad relativa y temperatura. Para la producción de humedad se usó un vaporizador de agua que se introdujo vapor de agua en el ambiente controlado, donde se encuentran alojadas las estructuras del interés de estudio.

### 2.2. Descripción del campo de estudio

El entorno físico de estudio se direcciona en la determinación de las afectaciones por humedad, generadas en lugares con alto porcentaje de humedad relativa, como son la Región Costa y Amazonia del Ecuador. La organización de estados americanos detalla que en la amazonia cuenta con valores de humedad que van desde 85% al 90% anualmente, en ciudades como Manabí presentan humedad similar que va desde el 80% al 85% y como dato interesante en la sierra ecuatoriana se produce un alto nivel de humedad en la estación de Papallacta que todo el año existe una pequeña variación que va desde 94% al 95% manteniéndose como una de las ciudades con mayor humedad relativa del país. (OSA, 2020)

### 2.3. Análisis de efectos producidos por la humedad

La humedad se encuentra como un factor físico amenazante para las estructuras eléctricas que generan un desgaste progresivo del metal aumentando la resistencia del material, estas consecuencias se pueden combatir con recubrimientos protectores hechos a base de nanopartículas, para ello crearon nanopartículas que se rociaron a una de las piezas metálicas brindándole una protección extra para evitar desgastes en ambientes con alta afluencia de humedad relativa, se introdujeron las dos piezas en la caja térmica que mantiene un rango de definido de 70% al 75% de humedad y para finalizar ejecutar su respectivo análisis de afectación en cada una de las partes metálicas.

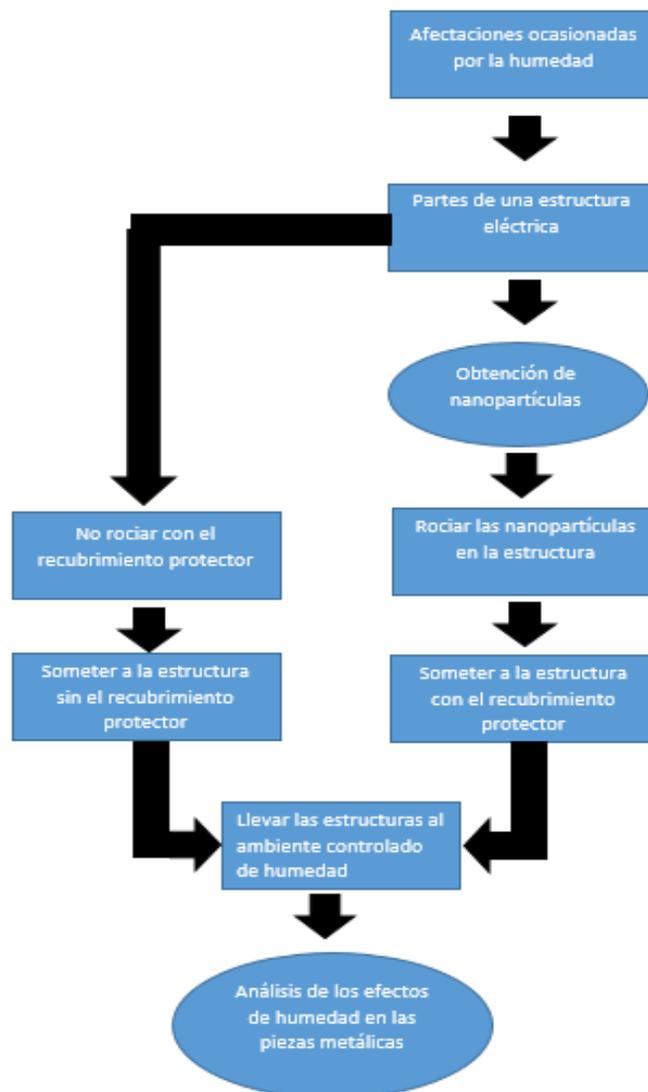


Fig. 8. Diagrama de flujo del análisis de efectos ocasionados por humedad

La humedad produce un desgaste notable en las estructuras eléctrica, porque si el metal no presenta un recubrimiento superficial se empezará a deteriorarse y presentar fracturas en el cuerpo metálico.

#### 2.4. Materiales del sistema de control de humedad

Los componentes y módulos realizan diferentes funciones que se adaptan al sistema de control de humedad que se necesita, en la Fig. 9. Se observa cómo van a interactuar cada elemento con la finalidad de controlar el sistema de control de humedad.



Fig. 9. Sistema de control de humedad

Los materiales tienen el objetivo de simular un ambiente de humedad relativa e identificar las causas que pueden ocasionar, los materiales designados a utilizar se seleccionaron dependientemente del uso para ello se optó por un sensor de humedad, sensor de temperatura que trabaje en la toma de medición y recolección de datos cada 3 segundos, una pantalla Lcd e Ic2 que se adapten a la reducción de cables excesivos facilitando las conexiones de los pines, una caja térmica que va a albergar a las piezas metálicas como son el perno de ojo, la tuerca de ojo y el aislador utilizados como objeto de estudio en un ambiente de humedad relativa controlado.

#### **2.4.1. Contenedor para el ambiente controlado**

El contenedor se constituye de dos termos de espumaFlex, que poseen dos tapas desprendibles en la parte superior y en una de ellas se realizó un orificio en un lado del termo para unir las cajas, se agrupó y se pegó con silicona líquida para evitar fugas de vapor o ingresos de aire del exterior al interior de la caja como se muestra en la Fig. 10. El recipiente permite mantener un ambiente de humedad y temperatura adecuado para iniciar con proceso de muestreo.



Fig. 10. Cooler (Recipiente)

Los cooler mantienen una temperatura adecuada y presentan una excelente resistencia a la humedad debido a que no absorben agua ni vapor de agua, 100% reciclable e impermeable ante el derrame de algún líquido. (Plastex, 2015)

TABLA 2.1. Características del cooler

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>TAMAÑO</b>
Largo exterior	mm	780
Ancho exterior	mm	370
Alto exterior	mm	35
Espesor de la tapa	mm	40
Largo interior	mm	680
Ancho interior	mm	362
Alto interior	mm	29

Elaborado: Autor

La caja térmica almacena un porcentaje de humedad relativa que se produce por el vaporizador, por las noches el recipiente térmico va a aumentar de humedad considerablemente, para ello se posicionó los ventiladores en la parte trasera y los laterales del contenedor, ayudando a mantener la humedad en el rango deseado que va de 70% a 75% sin exceder el rango definido.

#### **2.4.2. Vaporizador**

El vaporizador se modificó para producir la emisión de vapor de agua y se adaptó un tapón de tubo PVC para almacenar el vapor momentáneamente, se realizó un corte en la parte superior donde se posicionó una Tee de PVC para obtener una entrada de vapor y que me entregue dos salidas de vapor de agua para cada una de la manguera que servirá como el transporte de vapor y mantener toda la caja llena de humedad de forma equitativa como se muestra en la Fig. 11.



Fig. 11. Vaporizador.

Para poder generar diferentes niveles de humedad en el ambiente es necesario convertir en agua en vapor, para ello se optó por la elección de un vaporizador que consta de un recipiente de aluminio que se calienta el agua y va a producir a su vez vapor de agua, consta de una carcasa está hecha de plástico resistente a golpes, presenta el solo nivel máximo para la emisión por vapor, este equipo funciona con un voltaje de 120v el cual se va a acoplar un relé para el encendido y apagado automático cuando lo requiera por la escasez o falta de humedad en la caja hermética. (De Miguel, 2021)

#### **2.4.3. Sensores**

La mayoría de sensores se utilizan para convertir una magnitud producida por efectos químicos y físico para llevarlas a señales eléctricas, la señal que emite el sensor puede ser no lineal, es decir las señales siempre van a variar como va transcurriendo el tiempo, si se usa un controlador se puede linealizarse los valores de medición del sensor para ello se deben utilizar

otros componentes que permitan mantener valores variables al inicio, pero con el paso del tiempo llegaran a estabilizarse en rangos definidos.

#### ❖ Sensor de humedad

El sensor DHT-22 obtendrá la data de humedad y enviará al Arduino el cual no interpretará y transportará a la pantalla Lcd, se observa en la Fig. 12. Consta de una carcasa de plásticos y puede brindar información de humedad relativa y temperatura, viene con cables jumper hembra que facilitan la conexión de los pines entre el sensor y el Arduino, su contextura de malla permite en ingreso adecuado de humedad al componente electrónico.



Fig. 12. Módulo DHT-22

El sensor DHT-22 presenta una precisión de 0.5% de error por medición, además posee 3 pines que se identifican como Vcc, que representa los 5v positivos que va del Arduino al sensor Gnd representa al valor negativo del sensor y int la entrada del sensor que se debe conectar a un pin digital para que el Arduino pueda tomar las mediciones, mediante la programación que se detallara posteriormente. Además, viene con una librería designada que permite una mayor facilidad la programación y toma de mediciones de los valores de humedad.

TABLA 2.2. Especificaciones técnicas del sensor DHT-22

DESCRIPCIÓN	VALORES
Fuente de alimentación	3.3 – 6v DC
Rango de operación humedad relativa	0 -100%
Rango de operación temperatura	-40 a 80° Celsius
Precisión de la humedad relativa	0.1%
Precisión de la temperatura	0.1° Celsius
Histéresis de humedad	+0.3% H.R.
Dimensiones	14*18*5mm

Fuente: (Liu, 2016)  
Elaborado: Autor

El módulo DHT-22 posee librerías gratuitas que permiten programar con mayor facilidad evitando cometer errores al momento de crear el código, además se debe identificar el datashett para saber cuáles pines son entras y cuáles son de alimentación conectada a la placa.

### ❖ Sensor de Temperatura

El sensor tiene una librería dallas para utilizarlo con el código, el sensor de temperatura que está conformado por tres pines, dos son de alimentación y el otro de salida digital, su aislamiento permite la protección del agua como se muestra en la Fig. 13.



Fig. 13. Sensor Ds18b20

Para obtener la medición de temperatura se introduce la parte metálica en dentro de la caja térmica para medir valores de temperatura, adicionalmente sé lo posiciona en el centro del recipiente hermético.

TABLA 2.3. Especificaciones técnicas del sensor Ds18b20

DESCRIPCIÓN	VALORES
Fuente de alimentación	3 a 5.5V DC
Medidas de temperatura	-55°C a +125°C
Es programable para	9 bits y 12 bits
Precisión de la temperatura	+/-0.5%
Convierte 12- bits en temperatura	750 ms valor máximo
Aplicaciones	Control industrial, consumo de productos, termómetro.
Dimensiones	14*18*5mm

Fuente: (Maxim, 2008)  
Elaborado: Autor

En el sensor cuenta con un recubrimiento que permite medir valores de temperatura en líquidos, además para su conexionado se debe utilizar resistencias para reducir el valor de voltaje y evitar que se queme.

#### 2.4.4. Arduino

Se define como una placa de desarrollo donde se puede utilizar pines analógicos y digitales para ser controlados por medio de una plataforma de la ID de Arduino donde se crea y se programa el código que se va a ejecutar acciones mediante dispositivos o componentes para designar sentencias definidas por el programador.

##### ❖ Software

Es un ambiente de desarrollo con un software que posee una ventana de texto para la programación de códigos, tiene una extensa lista de librerías que facilitan la programación, las herramientas contienen funciones y menús para identificar si el código presenta algún error para poder rectificarlo y se selecciona el puerto para cargar el código en la placa de desarrollo que conjuntamente iniciara trabajando con los componentes para llegar a obtener acciones de parte de la placa. Arduino tiene muchos paquetes y códigos gratuitos para todo el mundo que permite la creación de proyectos para entornos académicos. (Arduino, 2022)

##### ❖ Placa de desarrollo

El cerebro del sistema de control de humedad es la placa de desarrollo que trabajando conjuntamente con el software libre crean proyectos de entorno académico, mapeo y muestreo de datos, presenta una variedad de pines analógicos, digitales, dos alimentaciones de 3.3v y 5v como salida del Arduino, además se puede comunicar por radiofrecuencia, bluetooth utilizando los pines Tx y Rx como se observa en la Fig. 14.

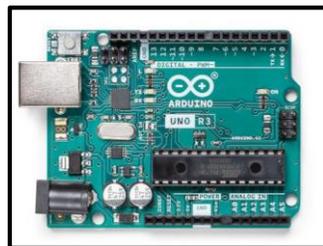


Fig. 14. Componentes del Arduino  
Fuente: (Arduino, 2022)

Trabaja a los 16 MHz como velocidad de comunicación y envío de datos, se puede alimentarlo con una fuente de alimentación de 5v ya sea cargador o USB y como reinicio o reseteo de la placa contiene un botón que permitirá el reinicio y la comunicación para configurar ciertos componentes con bluetooth o para controlarlo mediante un control remoto. (Hidayanti, 2020)

TABLA 2.4. Especificaciones técnicas del Arduino Uno

DESCRIPCIÓN	VALORES
Microcontrolador	ATmega328
Voltaje de Operación	5V DC
Voltaje de entrada (recomendado)	7V a 12V DC
Voltaje de entrada (limite)	6V a 20V DC
Pines digitales	14 (6 PWM)
Pines analógicos	
Corriente en pines analógicos	50 mA
Corriente en pines digitales	40 mA

Fuente: (Arduino, 2022)  
Elaborado: Autor

Arduino consta de diversas aplicaciones para la creación de proyectos, en la página oficial se puede encontrar ejemplos de códigos para estudiantes que va a iniciar desde cero, los códigos de la página son de uso libre para utilizarlos en los proyectos que se requieran.

#### **2.4.5. Fritzing**

Es un programa que se empleará para el diseño de componentes electrónicos donde se posicionan y se conectan entre ellos, permite formar circuitos impresos en la placa de baquelita, además se puede generar el código en programación C y subirlo a la nube para después exportarlo al mismo software de Arduino, se encuentra disponible como código libre que no requiere tener ninguna licencia, presenta variedades de componentes para el desarrollo de esquemas, el único problema es que no permite generar la simulación y observar el comportamiento del circuito diseñado.

#### **2.4.6. Pantalla LCD**

El display es muy importante para la visualización de datos obtenidos por los sensores, la pantalla lcd consta los pines que debe de ser conectados con el Arduino en la parte trasera se encuentra el potenciómetro para regulación de luz, presenta un borde protector para la pantalla líquida que deben mostrar datos de humedad, temperatura y anexada simbología para entender la información receptada como se muestra en la Fig. 15



Fig. 15. Pantalla LCD

La pantalla permite transformar las señales eléctricas que genera la placa de desarrollo en señales de letras, símbolos y números para mostrar información en un lenguaje comprensivo para el observador, las divisiones de la pantalla están formadas por filas y columnas, donde las filas están conformadas por 16 caracteres y por dos columnas (Hernández, 2022)

TABLA 2.5. Ficha técnica de la pantalla LCD de 16 x 12 canales

Descripción	Valores
Formato display	16 x 2 canales
Fuente de alimentación	5V DC
Corriente de alimentación	1.5 mA
Dimensiones	122.0 x 44.0 mm
Colores de pantalla	Verde, blanca, azul
Voltaje Operacional	3V

Fuente: (Vishay, 2022)

Elaborado: Autor

Para la pantalla se debe adaptar un I2C que va a conectarse a los 16 pines que tiene el display y con ello se regulara la intensidad de luz con un pequeño potenciómetro para obtener los datos legibles.

#### 2.4.7. Módulo I2C

La composición interna del módulo, presenta 16 pines en la parte superior que se conectan con la Lcd, los 4 pines de salida posicionados en la parte lateral se conectan con el Arduino y tiene placa de desarrollo que trabajando conjuntamente con el software libre crean proyectos de entorno académico, mapeo y muestreo de datos, presenta una variedad de pines analógicos,

digitales, dos alimentaciones de 3.3v y 5v como salida del Arduino, además se puede comunicar por radiofrecuencia, utilizando los pines Tx y Rx como se muestra en la Fig.16

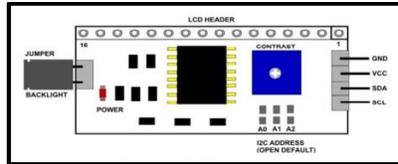


Fig. 16. Módulo I2C  
Fuente: (Electronics M. , 2017)

El módulo posee la utilidad para reducir los cables excesivos en la comunicación de la pantalla y el Arduino, para ello el I2C consta de 4 pines de los cuales dos son de alimentación y los otros 2 de comunicación que se van a conectar a la placa de desarrollo, los 16 pines se deben acoplar a la pantalla. Además, el módulo presenta su propia librería en el software libre, lo que facilita la creación y control de información que se visualiza en el display. El I2C contiene un chip PCF8574 que facilita la conversión de datos en serie con el módulo y de forma paralela con la pantalla. (Eneka, 2014)

#### 2.4.8. Relé mecánico

Para el encendido o apagado de ventiladores y el vaporizador se debe utilizar un módulo relé electromecánico que consta de dos pines como salida que van alimentados al Arduino con 5V, un pin de entrada digital y en la entrada tenemos la alimentación ya sea en voltaje alterno y voltaje continuo que tiene contactos abiertos y cerrado y un pin para hacer contacto con el electroimán como se observa en la Fig. 17.



Fig. 17. Módulo relé  
Fuente: (Electronics U. , 2022)

El módulo presenta varios canales que vienen a ser las entradas digitales que enviaran un pulso y actuar como un switch de encendido o apagado, consta de una bobina y el electroimán que controlan la conexión y desconexión de un circuito, esto quiere decir si el circuito está cerrado la corriente fluye por el circuito con un valor de voltaje de 5V o caso contrario si el voltaje es de 0V no existe corriente en el circuito. (Arduino, 2021)

TABLA 2.6. Especificaciones técnicas del módulo relé.

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Valores</b>
Fuente de alimentación	5V DC
Voltaje máximo AC	250V / 125V
Tipo de contacto	NC Y NO
Voltaje máximo DC	30V
Peso	15 gr
Dimensiones	34mm x 26mm x 19mm

Fuente: (Electronics U. , 2022)

Elaborado: Autor

El relé se emplea para diversas aplicaciones como encendido y apagado de luminarias, ventiladores y licuadoras, esto depende del nivel de corriente que puede trabajar el relé si ejercer sobrecorriente en el componente electrónico, además existen relés de estado sólido que puede soportar amperios muy altos.

## **2.5. Piezas Metálicas**

Las piezas metálicas de acero galvanizado se las encuentra en las líneas aéreas de distribución, combinándose con otras piezas forma lo que se llama comúnmente estructuras eléctricas que presentan la conexión entre el conductor y los herrajes de sujeción que permite cerrar el circuito, realizar empalmes y derivaciones que se requieran.

### **2.5.1. Tuerca de ojo ovalado**

Utilizado para trabajos relacionados con el roscado y el perno de ojo que se unen en el extremo al aislador de suspensión, tiene diversas características físicas de 15 mm y 15 mm la barra ovalada y presenta un grosor de 75 micras. Presenta ventajas favorables con la resistencia de golpes, una protección aceptable a la corrosión y un desempeño bueno en regiones calidad. (MAC, 2022)

### **2.5.2. Perno de ojo**

Los pernos de ojo presentan una utilidad en los montajes de las líneas de distribución de tipo aérea que tienen como finalidad fijar a aisladores en crucetas dobles para mantenerlas unidas una a la otra, sus dimensiones van desde 6 a 12 pulgadas de largo, poseen una rosca de 4 a 6 pulgadas, tienen un peso de 0,45 kg a 1,20 kg y finalmente un diámetro de 5/8 a ¾ de pulgada, están contruidos de material de acero galvanizado. (Gedisa, 2011)

### 2.5.3. Aislador de porcelana tipo carrete

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)

Las piezas están construidas de un material de acero y de porcelana que van a ser usadas como objeto de estudio para rociarlas, mediante el uso de recubrimientos superficiales y llevarlos al sistema controlado de humedad, se observa que una de las estructuras presentes un mayor desgaste que la otra por no tener el recubrimiento a base de nanopartículas como se observa en la Fig. 18.

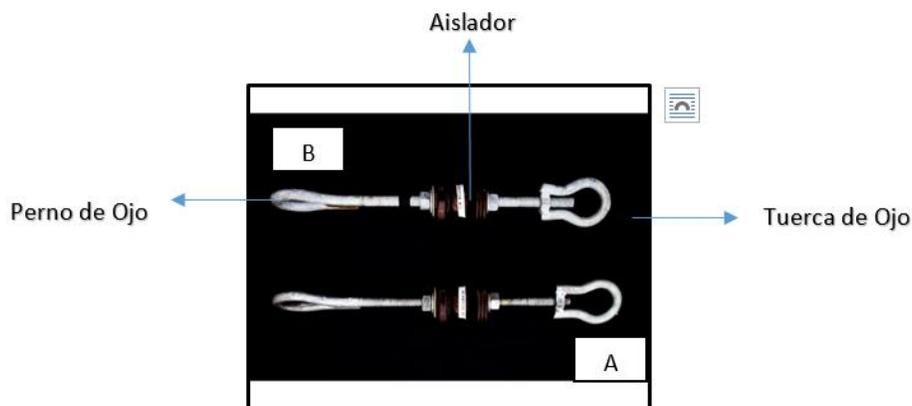


Fig. 18. Piezas metálicas para el campo de estudio. A (con recubrimiento) y B (Sin recubrimiento)

Se etiqueta las estructuras para diferencias, donde la estructura "A" presenta el recubrimiento a base de nanopartículas y por ende, no se muestra afectaciones por poseer la protección superficial, mientras que en la estructura "B" se observa afectaciones que se produce el exceso de humedad relativa en la tuerca de ojo, el perno del ojo y aislador.

### 2.6. Sistema de control de humedad

El sistema deberá simular un ambiente controlado de humedad, que permitirá trabajar conjuntamente con todos los componentes y elementos necesarios para la visualización y medición de datos de humedad, para ello dividió en varios partes hasta llegar con el control

deseado, se optó por un control on-off que permitirá mantener la humedad relativa en un rango deseado apto para la exposición de las estructuras que van a estar contenidas en un cooler.

### 2.6.1. Control de intensidad

Para la regulación de vapor de agua producido por el vaporizador se desarrolló un control de intensidad que cuenta con el esquema de conexiones para regular la cantidad de intensidad que ingresa al vaporizador, consta de un potenciómetro capaz de variar la corriente, el Diac tiene la capacidad de conducir la corriente en una sola dirección trabaja con la alimentación de 110v o 220v, el Triac está hecho de un material semiconductor que conmuta la corriente en otras palabras funciona como un interruptor de corriente alterna.

Además, se debe adaptarle a la fase del vaporizador para conectar de manera correcta y evitar que los componentes electrónicos se quemen, las baterías representan a la fuente alterna para identificar la conexión adecuada como se observa en la Fig. 19.

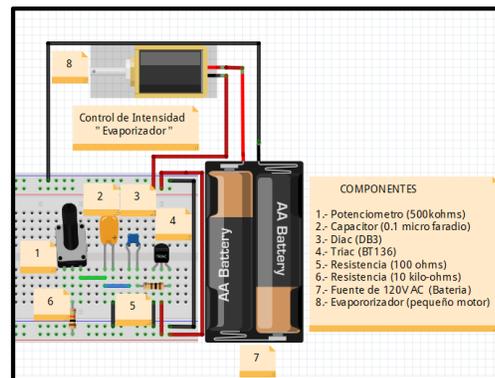


Fig. 19. Esquema de Control de Intensidad

Se lo diseñó con el fin de regular la intensidad de entrada que le llega al vaporizador, para ella se utilizó diferentes componentes electrónicos que permitirán aumentar o disminuir la corriente con ayuda de un potenciómetro, rotando la perilla se puede designar un nivel de vapor adecuado para el termo y que pueda generar un valor de humedad acorde a la que se necesita para el contenedor de las piezas metálicas.

### 2.6.2. Acoplamiento del sistema de control de humedad e intensidad del vaporizador

Para el control de humedad es necesario realizar un esquema de la humedad relativa, donde presenta el control y medición de valores en humedad con la placa de desarrollo Arduino que permite integrar los componentes como relés que van a encender o apagar los ventiladores y el

vaporizador con la finalidad de controlar un rango de humedad específico, además se detalla en el esquema cada uno de los componentes por un número asignado para comprender las conexiones que se realizaron como se observa en la Fig. 20.

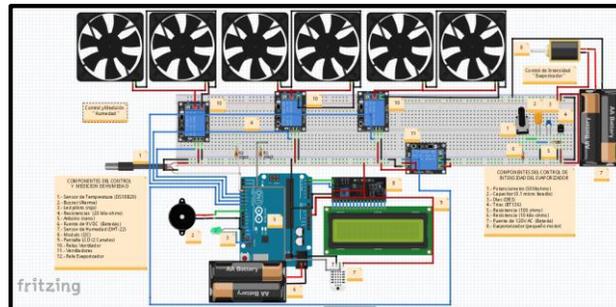


Fig. 20. Esquema del sistema control de humedad

Es necesario usar un programa para el diseño del circuito e identificar los pines como van a ser conectados con cada elemento, hay que identificar los pines de alimentación para realizar un solo canal, ya que Arduino solo cuenta con una fuente de 5v. El código del sistema de control de humedad se encuentra en el ANEXO A.

## 2.7. Recubrimientos

Para este trabajo se ejecutó el proceso de síntesis de un recubrimiento a base de una suspensión de nanopartículas de dióxido de titanio  $TiO_2$  utilizando como sustrato una solución de etanol al 70% obteniendo clústeres de nanopartículas suspendidas de  $TiO_2$  de aproximadamente 6 $\mu$ m.

### 2.7.1. Síntesis del recubrimiento de $TiO_2$

En la presente investigación, la síntesis empleada para la obtención de nanopartículas de dióxido de titanio fue la reportada por Yaghoubi y colaboradores (Yaghoubi, Taghavinia, & Alamdari, 2010) y posteriormente modificada. Se creó un complejo de peróxido de titanio mediante la mezcla de tetraisopropóxido de titanio (TTIP) al 97% m/v (SIGMA),  $H_2O_2$  al 30% m/v (SIGMA) y agua desionizada a una proporción volumétrica de 12:90:200 respectivamente; la ventaja de usar un complejo de peróxido de titanio es su fácil disociación con los enlaces polares de agua, así mismo es una relación altamente estable que permite la distribución uniforme del titanio alrededor del sol-gel cuando polimeriza, además es una reacción con etapa bien definida.

Esta solución se mantuvo en agitación constante (1150 rpm) durante 26 h a temperatura ambiente, obteniendo un gel viscoso color naranja.

## 2.8. Mediciones

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.

### 2.8.1. Medición visual

Las dos estructuras fueron sometidas a un ambiente de humedad relativa, en las piezas “A ” se impregnaron las nanopartículas protectoras que se encuentra en el recipiente y en las piezas “B” no presentan ningún recubrimiento, se observa que muestran un deterioro significativo en la pieza metálica “B” ,afectando la parte superficial del metal, que posteriormente se genera óxido en aquella que no cuenta con la protección superficial, los aisladores no presentaron ningún cambio al ser expuesto a una humedad relativa controlada como se visualiza en la Fig. 21

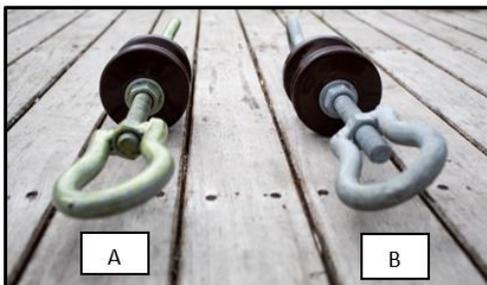


Fig. 21. Parte posterior de las estructuras, “A” (con recubrimiento) y “B” (Sin recubrimiento)

Se compara las dos estructuras donde la estructura “A” cuenta con protección de nanopartículas que es de color marrón, se roció con un spray para llegar a los lugares de la rosca, el tiempo para que el recubrimiento se impregne en la pieza metálica es de un día que se encuentre expuesto a aire libre en un lugar soleado para que absorba la protección que otorgan las nanopartículas como se muestra en la Fig. 22.

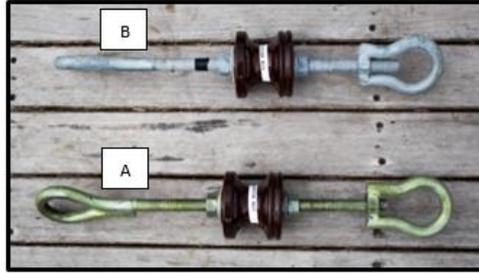


Fig. 22. Parte superior de la estructura "A" (con recubrimiento) y "B" (Sin recubrimiento)

Al sacarlas de la caja térmica se observa que la estructura "B" se encuentra desgastada por la exposición de humedad relativa, presenta un color blanquecino y un desgaste en el perno de ojo que va dañando considerablemente a la rosca, si se va apretando con la tuerca de ojo se va expulsando residuos de la parte metálica que afectan a la sujeción como se muestra en la Fig. 23.

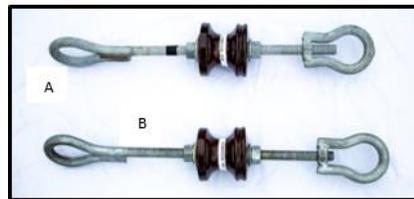


Fig. 23. Blanqueamiento de la estructura "A" (con recubrimiento) y "B" (Sin recubrimiento)

El estado de la tuerca y perno de ojo ovalado de las piezas de "B" no poseen recubrimiento, presenta pequeños grumos de corrosión en sus roscas esto sucede por estar expuesto a una humedad relativa constante y con el paso del tiempo puede llegar a fracturar la parte superficial externa de la estructura, llegando a su parte interna causando problemas y accidentes indeseados en las líneas aéreas como se observa en la Fig. 24. Mientras que las piezas "B" mantienen el mismo color inicial, antes de exponerse a la humedad.

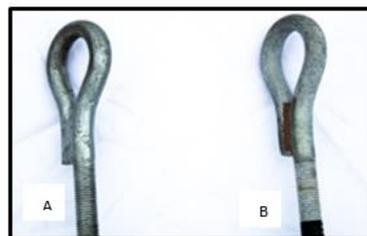


Fig. 24. Grumos de corrosión. "A" (con recubrimiento) y "B" (Sin recubrimiento)

### **2.8.2. Técnica del gramaje**

En cierta área de la superficie metálica de la estructura “B” se raspa el perno de ojo y se extrae toda la corrosión generada por las afectaciones ocasionadas por la humedad, se procede a medir el peso por unidad de superficie y se compara con la estructura “A” que no posee ningún desprendimiento de residuos de óxido producidos por la humedad.

Mediante el raspado se extrajeron grumos de corrosión de la tuerca de ojo ovalado afectada por humedad que cuenta con una porción pequeña de residuos, observando efectos a la estructura generados por la húmeda relativa a corto plazo, evidenciando la presencia de residuos en aumento por el deterioro de la pieza metálica que no presenta ninguna protección a base de nanopartículas como se observa en la Fig. 25



Fig. 25. Residuos de corrosión estructura “B” (Sin recubrimiento)

### **2.8.3. Resistencia**

La resistencia eléctrica comprende la oposición de electrones que a medida que mayor sea la resistencia mayor será la dificultad para que pasen los electrones por el material, tendrá mayor dificultad de viajar los electrones en la parte metálica, la unidad de medida es el ohmio (Aguirre, 2003)

Para realizar las mediciones se compró 2 metros de cable gemelo #12 para conectar las entradas de la plancha con la tuerca y perno de ojo y llevarlas las dos puntas al multímetro para medir la resistencia total del circuito, además se midió la resistencia de la plancha y haciendo una diferencia entre la resistencia del circuito menos la resistencia de la plancha se obtuvo una diferencia entre la resistencia del circuito menos la resistencia de la plancha se obtuvo los valores de resistencia de la pieza metálica del perno y tuerca de ojo ovalado.

❖ Resistencia de toda la pieza

Para la toma de mediciones debe ejecutar el esquema de conexiones de la plancha conjuntamente con la estructura, utilizando un multímetro que permita determinar los valores de resistencia del circuito, se conectó el multímetro en la posición de paralelo para tomar la medición, se optó por el mismo circuito solo cambiando las estructuras con y sin recubrimiento, además se realizó la simbología para tener un mejor entendimiento de que equipos y componentes se utilizó como se observa en la Fig. 26.

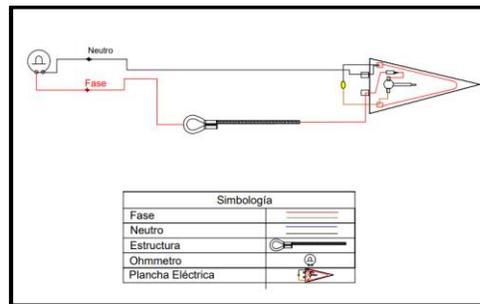


Fig. 26. Esquema de medición de resistencia del circuito

En la Fig. 27 Se observa el esquema de conexiones de la plancha sin tomar en cuenta la estructura, para ello se utilizó un multímetro que permita determinar los valores de resistencia del circuito, se conectó el multímetro en la posición de paralelo para tomar la medición, y se midió en los pines de la plancha para obtener los valores de resistencia.

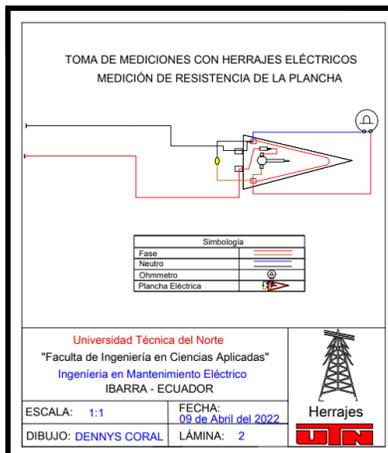


Fig. 27. Resistencia de la plancha

Se desarmó la plancha para tomar los valores de resistencia que presenta, además la plancha se la posicionaba siempre en el valor máximo y para el multímetro se utilizó los dos caimanes para sujetar los pines y generar una medición válida. En la TABLA 2.7. se observa la integración de los valores de resistencia obtenidos de las mediciones tomadas por el multímetro digital.

TABLA 2.7. Valores de resistencia de las piezas metálicas

Fecha	Con recubrimiento			Sin Recubrimiento		
	R. Material	R. Circuito	R. Plancha	R. Material	R. Circuito	R. Plancha
29/09/2021	1	14.5	13.5	1.8	15.3	13.5
06/10/2021	1.7	15.6	13.9	4.6	18.5	13.9
11/10/2021	2.2	15.3	13.1	2.7	15.8	13.1
16/10/2021	2.5	15.5	13	3.5	16.5	13
21/10/2021	2.9	16.3	13.4	4.5	17.9	13.4
27/10/2021	4.6	17.6	13	6.1	19.1	13
01/11/2021	5.6	19	13.4	6.8	20.2	13.4
07/11/2021	6	19.7	13.7	7.9	21.6	13.7
12/11/2021	7.8	20.9	13.1	9.4	22.5	13.1
17/11/2021	9.2	22.5	13.3	9.7	23	13.3
24/11/2021	9.5	23	13.5	10.5	24	13.5
29/11/2021	16.9	30.8	13.9	17.4	31.3	13.9
04/12/2021	17.4	30.8	13.4	18.7	32.1	13.4
09/12/2021	17.3	31.2	13.9	19.1	33	13.9
14/12/2021	18.8	32.5	13.7	19.4	33.1	13.7
19/12/2021	19.4	32.7	13.3	20.3	33.6	13.3
24/12/2021	19.9	33	13.1	22.3	35.4	13.1
29/12/2021	20.2	33.8	13.6	22.4	36	13.6
03/01/2022	20.5	33.8	13.3	23.3	36.6	13.3
08/01/2022	20.6	33.8	13.2	23.8	37	13.2
13/01/2022	21.1	34.2	13.1	25.3	38.4	13.1
18/01/2022	22.1	35.6	13.5	26.1	39.6	13.5
23/01/2022	22.2	36	13.8	28.5	42.3	13.8
28/01/2022	22.8	36.4	13.6	29	42.6	13.6
04/02/2022	24.1	37.4	13.3	32.9	46.2	13.3

Elaborado: Autor

Partiendo de los datos obtenidos de la TABLA 2.6. Se realizó la Fig. 28 donde muestra como los valores de resistencia “A” inician desde el cero absoluto y a medida que va aumentando el tiempo de exposición a la humedad la resistencia aumenta considerablemente y desciende, pero llega a un nivel de 24.1 ohms como aumento de su valor inicial.

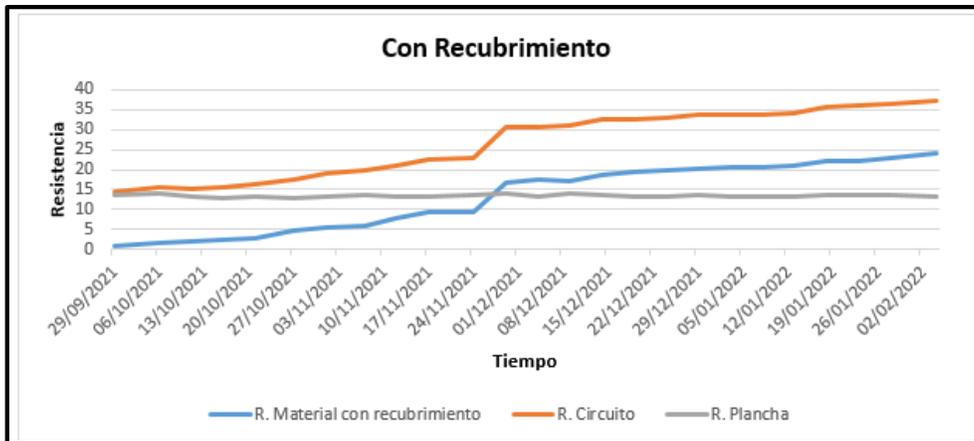


Fig. 28. Medición de resistencia "A" (con recubrimiento)

En la pieza "B" Se observa la variación de resistencia similar a "A" con única diferencia que existen valores más grandes de resistencia como se observa en la Fig. 29. Además, el aumento progresivo se va incrementando al estar mayor tiempo en un ambiente de humedad agresivo.

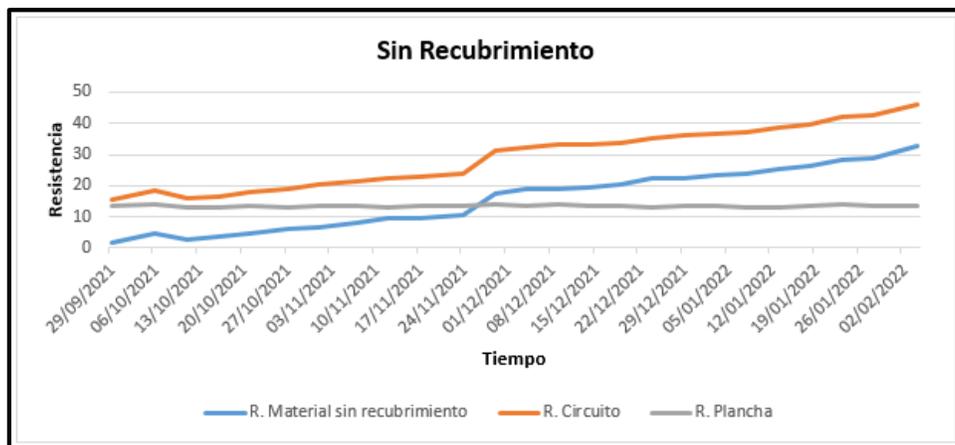


Fig. 29. Medición de resistencia "B" (Sin recubrimiento)

Cuando no se utilizó el recubrimiento en la turca y perno de ojo se va aumentando la resistencia considerablemente, ya que tenía un valor inicial mínimo. El valor de la resistencia de la plancha no presenta variaciones abruptas excesivas como se observa en la Fig. 30.

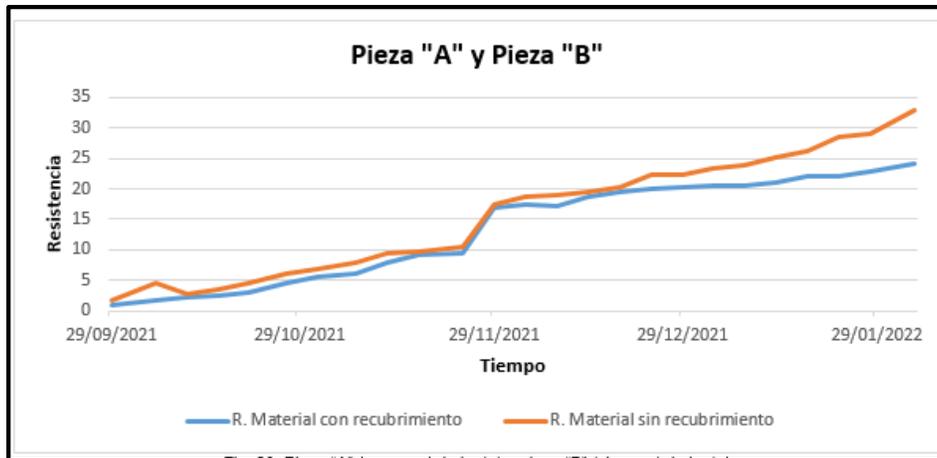


Fig. 30. Pieza "A" (con recubrimiento) y pieza "B" (sin recubrimiento)

#### 2.8.4. Resistencia de área superficial externa

Para la medición de una pequeña área superficial de la tuerca de ojo ovalado se procedió a cortar pequeñas láminas delgadas con una herramienta típica llamada segueta que permite extraer una pequeña cantidad de metal que se mide valores de resistencia, las mediciones se realizaron en los laboratorios de la carrera con un multímetro analógico, en la Fig. 31 Se visualiza el corte hecho de la turca de ojo ovalada metálica.

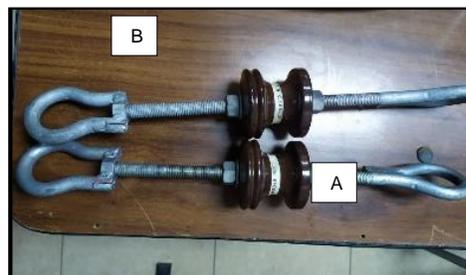


Fig. 31. Corte afectado

Para la utilización del multímetro se debe calibrar la escala de medición en este caso se utilizó en escala de 15mA para medir la resistencia, se unieron las puntas para posicionar la pluma en 0 ohms y que se genere una medición exacta como se observa en la Fig. 32.



Fig. 32. Calibración del multímetro analógico

En la medición de resistencia se optó por la utilización de caimanes que permiten sujetar a la parte metálica "A" evitando mediciones erradas que la afecten, se obtuvo un valor aproximado a de 0 ohms, se colocó una etiqueta para identificar si la pieza está usando nanopartículas con la letra "C" como se muestra en la Fig. 33.



Fig. 33. Medición de resistencia "A" (con recubrimiento)

Para la pieza "B" se empleó la misma conexión que en la pieza "A" y se observó en la Fig. 34 que su resistencia aumento un 0.2 Ohms si un valor pequeño de aumento de resistencia, esto se debe por la exposición de humedad que con el paso del tiempo las partes metálicas se van deteriorando y aumentando una resistencia diferente al valor que presentaba inicialmente.



Fig. 34. Medición de resistencia "B" (sin recubrimiento)

Se utilizó las rodela que vienen en el perno de ojo que también estuvieron expuestos a una humedad relativa excesiva en la caja hermética y se obtuvo los siguientes resultados:

Para tomar la medición se dio utilidad a los caimanes para mantener bien sujeta la rodela y se obtuvo valores de resistencia de 3.5 Ohms que es un pequeño aumento del valor inicial que era de ohms, se midió en una escala de 10 mA x10 ohms como se muestra en la Fig.35.



Fig. 35. Medición de resistencia "A" (con recubrimiento)

El mismo proceso se optó para medir la rodela que no presenta recubrimientos hechos a base de nanopartículas y se observó que el valor de la resistencia aumento considerablemente el doble de la rodela "A", con un valor de 8 Ohms que a su vez ha perdido su propiedad del acero galvanizado por estar en contacto con la humedad relativa como se muestra en la Fig.36



Fig. 36. Medición de resistencia "B" (sin recubrimiento)

En la TABLA 2.7. Se detalla: los valores de resistencia de las rodela y recorte de la tuerca de ojo, que contienen recubrimiento a base de nanopartículas y las otras piezas que no presentan ninguna protección.

TABLA 2.8. Valores de resistencia superficial de las partes metálicas.

DESCRIPCIÓN	Valores
Rodela sin recubrimiento	8.0 Ohms
Rodela con recubrimiento	3.5 Ohms
Recorte de pieza sin recubrimiento	0.9 Ohms
Recorte de pieza con recubrimiento	0.3 Ohms

Elaborado: Autor

## Capítulo 3

### Propuesta para el uso de recubrimientos a base de nanopartículas.

Uno de los fenómenos físicos que se produce en el ambiente es la humedad, que afecta progresivamente a estructuras, herrajes y contactos eléctricos metálicos, la mayoría presentan desgaste del recubrimiento inicial y al encontrarse expuestos a ambiente de humedad agresivo, llegan a producir accidentes o fallas inesperadas.

#### 3.1. Introducción

Con las características que tienen las nanopartículas protectoras para superficies externas de materiales metálicos y el diseño de un ambiente controlado de humedad, se puede evidenciar las afectaciones que produce la humedad en estructuras metálicas, las mismas que posteriormente serán analizadas, para evaluar el estado anterior y posterior. Para ello se roció una de las piezas con los recubrimientos protectores a base de nanopartículas en la superficie externa del material metálico y otra se dejó intacta como instrumento de control.

Analizado el método Top-down para la extracción de las nanopartículas mediante el desarrollo de síntesis de dióxido de titanio, que a su vez se utilizó un sustrato a base de etanol al 70%, que a su vez muestra como resultado la obtención de clústeres de nanopartículas de  $\text{TiO}_2$ , un tamaño aproximado de 6  $\mu\text{m}$ . En la etapa de caracterización de las nanopartículas, se optó por el uso de los laboratorios de mecatrónica que cuentan con los equipos requeridos para la adquisición del recubrimiento superficial.

Una vez designado un rango de 70% al 80% humedad relativa con que el sistema de control de humedad va a trabajar, se tomó valores de resistencia en las piezas metálicas con la finalidad de encontrar valores que afectaron a en la estructura desde antes y después de su exposición ante la humedad que no presento ningún recubrimiento.

Las pruebas se desarrollan en diferentes condiciones: con la técnica de gramaje, medición de resistencia, medición de área superficial externa. El propósito es comparar los valores adquiridos de cada una de las piezas metálicas, para encontrar diferentes afectaciones de oxidación, corrosión y desgaste físico.

### 3.2. Estimación del recubrimiento necesario por pieza.

Se debe tomar en cuenta ciertos parámetros para la obtención del recubrimiento a utilizar para rociar un herraje eléctrico: el cálculo de área superficial es esencial para comprender la cantidad de mililitros necesario a obtener, una vez obtenido los dos valores se puede estimar el costo por herraje y llegar a un valor total del dinero necesario para rociar una estructura completa, para observar las mediciones que realizaron a los herrajes, las encontramos en el ANEXO C.

#### 3.2.1. Cálculo del área superficial.

El área superficial en  $\text{cm}^2$  se va a determinar con la ayuda de la ecuación (3.1) la cantidad de recubrimiento que va a necesitar para que el herraje cuente con una capa protectora, en espacios que contengan un ambiente de humedad excesivo. Para ello se muestra en la Fig. 37 como se separa la estructura y se procede a tomar medidas de longitud y diámetro en el herraje.



Fig. 37. Cálculo del área superficial  
Fuente: Autor

$$AT = A1 + A2$$

$$AT = \left( (L1 \times (2\pi r1) + (2\pi(r1)^2)) + (L2 \times (2\pi r2) + (2\pi(r2)^2)) \right) \quad (3.1)$$

Donde:

**A1** = Cantidad de referencia (ml).

**L1** = Largo (cm).

**r1** = radio 1 (cm).

**A2** = Cantidad de referencia (ml).

**L2** = Largo (cm).

**r2** = radio 1 (cm).

El área superficial total del perno de ojo es de 248.07 cm<sup>2</sup>, las áreas deben estar representadas en unidades de medida de centímetros y las formulas a utilizar se conforman por la longitud y el radio que posee, en este caso el herraje presenta una forma cilíndrica que se partio en dos piezas para calcular el area total del herraje. Las áreas de los herrajes faltantes se encuentran en el ANEXO B.

### 3.2.2. Cálculo del recubrimiento deseado.

Una vez conocida el área superficial total de herraje, con la ayuda de la ecuación (3.2) se determina la cantidad de recubrimiento de mililitros para poseer un recubrimiento superficial. En el calculo del recubrimiento en mililitros, se toma como referencia la tuerca de ojo que requiere 5 ml para rocia un area de 250 cm<sup>2</sup>, para el uso de la fórmula se aplica una regla de 3 para calcular el perno de ojo que se conoce el área y se requiere sabe cuantos mililitros necesito para rociarla.

$$Cant.req = \frac{Cant.req \times area.ref}{cant.ref} \quad (3.2)$$

Donde:

**Cant.ref**: Cantidad de referencia (ml).

**Cant.req**: Cantidad requerida (ml).

**area.ref**: área de referencia (cm<sup>2</sup>).

**area.req**: área requerida (cm<sup>2</sup>).

La ecuación se detalla los valores necesarios para realizar el cálculo del recubrimiento por pieza de forma individual para estimar que cantidad va a utilizarse para obtener un recubrimiento en el herraje eléctrico. La cantidad de recubrimiento es de 1.23 ml para rociar el perno de ojo.

### 3.2.3. Cálculo del costo unitario.

Se aplica regla de 3 para determinar el valor unitario de cada herraje, tomando en cuenta que para la producción de 100 ml de nanopartículas el costo es de 24.50 \$ que seran los valores de referencia, para calcular el dinero que requiere la estructura para poseer el recubrimiento. En la ecuación (3.3) se encuentra el valor monetario de cuanto costaria rociar cada uno de los herrajes electricos.

$$cost.req = \frac{Cant.req \times cost.ref}{cant.ref} \quad (3.3)$$

Donde:

***Cant.ref***: Cantidad de referencia (ml).

***Cant.req***: Cantidad requerida (ml).

***Cost.ref***: Costo de referencia (\$).

***Cost.req***: Costo requerido (\$).

Los costos están relacionados con la cantidad de nanopartículas que se requiere para rociar del perno de ojo es de 1.23 \$ por pieza, brindando una protección superficial contra la humedad presente en el ambiente.

### **3.3. Proceso de aplicación de los recubrimientos a base de nanopartículas.**

Las nanopartículas deben ser usadas con ciertas precauciones, utilizando equipos de protección para evitar contacto entre el rociador y el líquido químico, además se debe realizar el rociado en ambiente que presenten ventilación. En la Fig. 38 se observa el recipiente y equipos para protección visual, olfativa y de contacto contra la piel.



Fig. 38. Materiales para el uso de nanopartículas

El uso de una jeringa es necesario para poder medir la cantidad de nanopartículas que se va a utilizar en el herraje, el uso de gafas o lentes es de vital importancia para los ojos, si es cierto no es un químico peligroso, pero alguna gota en los ojos puede perjudicar a la salud.

#### **3.3.1. Limpieza de la pieza metálica.**

Es necesario realizar la asepsia del herraje para eliminar residuos de basura y polvo impregnado en la superficie exterior de la pieza metálica, para ello se debe usar una franela o tela que no deje pelusas al estar en contacto con una superficie lisa y rugosa, se debe rociar la estructura con agua. Además, se debe esperar una media hora para que se seque por completo

y así evitar que el recubrimiento tenga contacto con el agua. Después se hace la limpieza de arriba hacia abajo y se rocía agua para eliminar la suciedad impregnada en la parte metálica.

### **3.3.2. Ubicación de nanopartículas en el recipiente de dispersión.**

El recipiente para el recubrimiento debe ser plástico y manipulable para el rociador, se etiquetó el recubrimiento antes de ser utilizado como se observa en la Fig. 39. Además, se debe posicionar el líquido en el contenedor para medir la cantidad de recubrimiento que se va a rociar.



Fig. 39. Posicionamiento de las nanopartículas

Para evitar el derrame de nanopartículas se requiere el uso de una jeringa que permite colocar el recubrimiento en el recipiente rociador, llenándolo a los 100 ml que el recipiente puede almacenar, se debe posicionar el recipiente en una superficie plana para presionar la jeringa y posicionar el agua en dentro del recipiente.

### **3.3.3. Equipos de protección personal.**

La utilización de guantes y gafas es recomendada para evitar el contacto entre la piel y el líquido, el químico no presenta tener propiedades peligrosas para usarlo, pero siempre se debe optar por el uso de gafas, si el viento es fuerte puede llevar el recubrimiento al rostro y producir un accidente que afecte a largo plazo a la visión del rociador. En la Fig. 40. Se observa que para rociar las nanopartículas se utilizó como protección las gafas y guantes quirúrgicos que son manipulables para evitar contacto en la piel.



Fig. 40. Uso de equipos de protección

La mascarilla es de uso obligatorio para evitar la respiración del olor del químico, el recubrimiento presenta poco olor, pero hay tener precaución al momento de dispersarlo en el herraje.

#### **3.3.4. Posicionar el herraje.**

La posición de la parte metálica es importante para que el recubrimiento pueda llegar a todos los lugares de la estructura superficial del herraje, para ello se roció mediante dos métodos, uno de ellos consiste en rociar la parte superior de la estructura, dejar que se seque y continuar con la parte inferior de la estructura, el segundo método consiste en llevarlo a una viga y que el herraje se encuentre suspendido de forma vertical para ir rociando de arriba hacia abajo como se observa en la Fig. 41. El recubrimiento excesivo se aprovechará ayudando a llegar a la parte inferior faltante.



Fig. 41. Posición vertical del herraje

Se utiliza estos métodos para evitar desperdiciar las nanopartículas y facilitar su compacto entre el objeto y el químico, que a su vez forma una capa protectora contra la humedad, los aisladores no requieren de protección porque no presentan ninguna afectación por la humedad.

### **3.3.5. Colocación del recubrimiento.**

El uso de Espray es muy recomendado porque se puede racionar un área superficial de 20 cm<sup>2</sup> para ello se debe emplear un método que consiste en posicionar el espray a una distancia de 20 cm a 30 cm con un movimiento de la muñeca de arriba hacia abajo como si se tratara de estar pintando una superficie metálica, con la diferencia que se coloca el recubrimiento con la finalidad de tener una protección contra ambientes que presenten un alto porcentaje de humedad en el ambiente. En la Fig. 42. Se observa el recubrimiento, debe de ser usado en lugares que se encuentre al aire libre para evitar que el rociador respire el químico.



Fig. 42. Recipiente para el roció de nanopartículas

Antes de usar el spray se debe ensayar el rociado con agua y ver si se dispersa el líquido al presionarlo, esto se lo realiza para identificar si no se ha tapado el orificio del recipiente de roció, ya que el recubrimiento tiene un espesor mayor al del agua.

### **3.3.6. Tiempo de secado del recubrimiento.**

El recubrimiento tiene un tiempo de secado de dos días en un lugar que se encuentre libre de polvo y grumos de residuos en el aire que entre en contacto con el herraje. Además, cuando han transcurrido los dos días se encuentra listo para ser utilizado sin ningún problema y se llevara al paso de instalarlo para que forme parte de una estructura aérea eléctrica. En la Fig. 43 se observa como el recubrimiento se encuentra secando al aire libre.



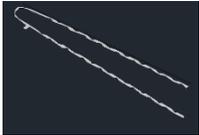
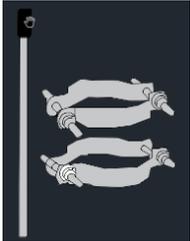
Fig. 43. Secado del recubrimiento

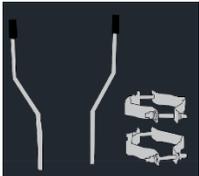
Durante el tiempo de secado se debe posicionar en lugares que se encuentren limpios para evitar que el polvo y la suciedad se adhiera al herraje, además hay que evitar que el metal entre en contacto con el suelo, el aislante debe tener contacto con el suelo ya que no presenta recubrimiento. La aplicación de nanopartículas de carrera de CIELE la encontramos en el Anexo E.

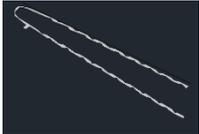
#### **3.4. Costo de aplicación.**

Para la propuesta es necesario contar con los valores de área total del herraje, la cantidad de mililitros que se requiere para colocar el recubrimiento en la superficie de la estructura y el costo para la creación de nanopartículas, a continuación en la TABLA 3.1. se detalla los parámetros mencionados totales de cada una de las estructuras monofásicas eléctricas de medio voltaje.

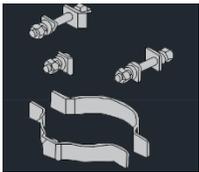
TABLA 3.1. Valor del área superficial total, valor del recubrimiento y el costo monetario.

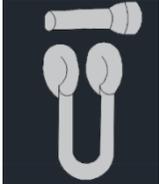
<b>Estructura Monofásica Centrada Pasante (13kv y22kv)</b>						
N°	Estructura	Cantidad	Área superficial en (cm <sup>2</sup> )	Cantidad de nanopartículas (ml)	Costo del uso del recubrimiento	Figura referencial
	Varilla de armar perforada simple.	1	Área total: 196.74 cm <sup>2</sup>	3.93 ml	1.22 \$	
2	Perno pin punta de poste simple de acero galvanizado y accesorio de sujeción.	1	Área cilindro: 257.02 cm <sup>2</sup> Área 2 abrazaderas: 749 cm <sup>2</sup> Área de 4 pernos: 296.84 cm <sup>2</sup> Area total: 1302.86 cm <sup>2</sup>	26.06 ml	6.38 \$	
<b>Total</b>			<b>1499.6 cm<sup>2</sup></b>	<b>29.98 ml</b>	<b>7.6 \$</b>	

<b>Estructura Monofásica Centrada Angular</b>						
N°	Estructura	Cantidad	Área superficial en (cm <sup>2</sup> )	Cantidad de nanopartículas (ml)	Costo del uso del recubrimiento	Figura referencial
1	Perno pin de punta de poste doble de acero galvanizado y accesorios de sujeción.	1	Área 2 cilindros : 514.04 cm <sup>2</sup> Área 2 abrazaderas: 749 cm <sup>2</sup>	31.20 ml	7.64 \$	

			Área 2 pernos: 296.84 cm <sup>2</sup> Área total: 1559.88 cm <sup>2</sup>			
2	Varilla de armar preformada simple.	1	Área total: 196.74 cm <sup>2</sup>	3.93 ml	0.96 \$	
<b>Total</b>			<b>1756 cm<sup>2</sup></b>	<b>35.13 ml</b>	<b>8.60 \$</b>	

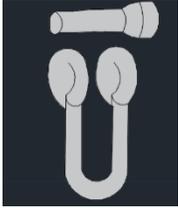
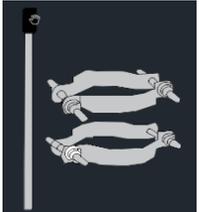
### Estructura Monofásica Centrada de Retención

N°	Estructura	Cantidad	Área superficial en (cm <sup>2</sup> )	Cantidad de nanopartículas (ml)	Costo del uso del recubrimiento	Figura referencial
1	Abrazadera de Acero Galvanizado, pletina, 3 pernos, 38x 4x 140 mm.	1	Área pernos: 256.2 2 cm <sup>2</sup> Área de barras: 406 cm <sup>2</sup> Área total: 662.22 cm <sup>2</sup>	13.24 ml	3.24 \$	
2	Aislador de Suspensión.	1	Área total: 135.20 cm <sup>2</sup>	2.70 ml	0.66 \$	
3	Horquilla de Acero Galvanizado.	1	Área de la horquilla:	2.96 ml	0.73 \$	

			123.85 cm <sup>2</sup> Área del perno: 24.63 cm <sup>2</sup> Área total: 148.48 cm <sup>2</sup>			
4	Grapa de Aleación de Aluminio.	1	Área de Abrazaderas: 119.27 cm <sup>2</sup> Área de pistola: 217 cm <sup>2</sup> Área total: 336.27 cm <sup>2</sup>	6.72 ml	1.64 \$	
5	Tuerca de Ojo Ovalado de acero galvanizado.	1	Área total: 123.85 cm <sup>2</sup>	12.05 ml	2.95 \$	
<b>Total</b>			<b>1436.02 cm<sup>2</sup></b>	<b>37.67 ml</b>	<b>9.22 \$</b>	

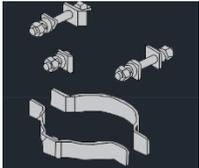
### Estructura Monofásica Centrada Doble Retención

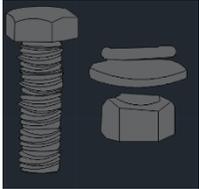
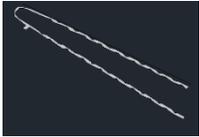
N°	Estructura	Cantidad	Área superficial de herraje (cm <sup>2</sup> )	Cantidad de nanopartículas (ml)	Costo para el uso del recubrimiento (\$)	Figura Referencial
1	Abrazadera de acero galvanizado, pletina, 4 pernos.	1	Área pernos:300.6 6 cm <sup>2</sup> Área de barras: 406 cm <sup>2</sup> Area total: 706.66 cm <sup>2</sup>	14.13 ml	3.46 \$	

2	Aislador de suspensión, caucho siliconado	2	Área total: 270.4 cm <sup>2</sup>	5.4 ml	1.32 \$	
3	Horquilla de acero galvanizado, para anclaje.	2	Área de la horquilla: 247.7 cm <sup>2</sup> Área del perno: 49.26 cm <sup>2</sup> Área total: 296.96 cm <sup>2</sup>	5.94 ml	1.45 \$	
4	Grapa de aleación de Al, terminal apernado, tipo pistola.	2	Área de Abrazaderas: 238.54 cm <sup>2</sup> Área de pistola: 434 cm <sup>2</sup> Área total: 672.54 cm <sup>2</sup>	13.45 ml	3.29 \$	
5	Tuerca ojo ovalado de acero galvanizado.	2	Área total: 247.7 cm <sup>2</sup>	4.95 ml	1.21 \$	
6	Perno pin punta de poste simple de acero galvanizado, con accesorios de sujeción.	1	Área cilindro: 257.02 cm <sup>2</sup> Área de 2 abrazaderas: 749 cm <sup>2</sup> Área de 4 pernos: 296.84 cm <sup>2</sup> Area total:	26.05 ml	6.38 \$	

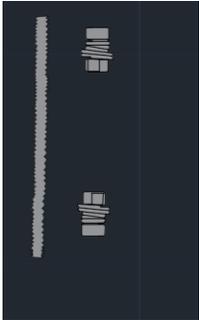
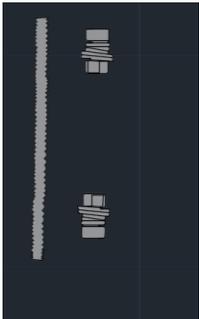
			1302.86 cm <sup>2</sup>			
7	Conector de aleación de Al, compresión tipo "H".	1	Área total: 24.60 cm <sup>2</sup>	0.49 ml	0.12 \$	
<b>TOTAL</b>			<b>3521.72 cm<sup>2</sup></b>	<b>70.41</b>	<b>17.23 \$</b>	

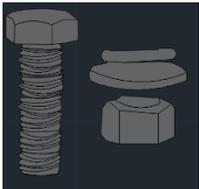
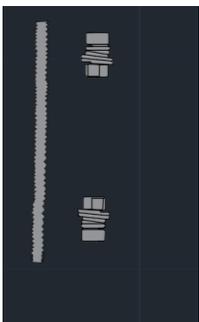
### Estructura Monofásica en Volado Pasante

N°	Estructura	Cantidad	Área superficial de herraje (cm <sup>2</sup> )	Cantidad de nanopartículas (ml)	Costo para el uso del recubrimiento (\$)	Figura Referencial
1	Abrazadera de acero galvanizado, pletina, 3 pernos.	1	Área pernos: 256.2 2 cm <sup>2</sup> Área barras: 406 cm <sup>2</sup> Área total: 662.22 cm <sup>2</sup>	13.24 ml	3.24 \$	
2	Perno "U" de acero galvanizado, 2 tuercas, 2 arandelas planas y 2 presión.	1	Área perno: 130.64 cm <sup>2</sup> Área ovalada: 117.43 cm <sup>2</sup> Área total: 248.07 cm <sup>2</sup>	5 ml	1.22 \$	
3	Cruceta de acero galvanizado, universal.	1	Área total: 6000 cm <sup>2</sup>	120 ml	29.40 \$	

4	Perno máquina de acero galvanizado, tuerca, arandela plana y presión.	1	Área total: 24.63 cm <sup>2</sup>	0.5 ml	0.12 \$	
5	Perno pin de acero galvanizado, rosca plástica de 50 mm.	1	Área total: 164.52 cm <sup>2</sup>	3.30 ml	0.80 \$	
6	Pie amigo de acero galvanizado, perfil "L".	1	Área total: 559 cm <sup>2</sup>	11.18 ml	2.73 \$	
7	Varilla de armar preformada simple.	1	Área total: 196.74 cm <sup>2</sup>	3.93 ml	0.96 \$	
<b>Total</b>			<b>7855.18 cm<sup>2</sup></b>	<b>157.15 ml</b>	<b>38.47 \$</b>	

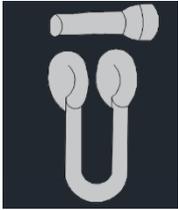
### Estructura Monofásica en Volado Angular

N°	Estructura	Cantidad	Área superficial de herraje (cm <sup>2</sup> )	Cantidad de nanopartículas (ml)	Costo para el uso del recubrimiento (\$)	Figura Referencial
1	Abrazadera de acero galvanizado, pletina, 4 pernos.	1	Área pernos:300.6 6 cm <sup>2</sup> Área de barras: 406 cm <sup>2</sup> Área total: 706.66 cm <sup>2</sup>	14.13 ml	3.46 \$	
2	Perno rosca corrida de acero galvanizado, 4 tuercas, 4 arandelas planas y 4 de presión.	3	Área perno:282.87 cm <sup>2</sup> Área de tornillos: 1017.36 cm <sup>2</sup> Área total: 1300.16 cm <sup>2</sup>	26.00 ml	6.37 \$	
3	Perno rosca corrida de acero galvanizado, 4 tuercas, 4 arandelas planas y 4 de presión.	1	Área perno:31.43 cm <sup>2</sup> Área tornillos: 113.04 cm <sup>2</sup> Área total: 144.47 cm <sup>2</sup>	2.89 ml	0.71 \$	
4	Cruceta de acero galvanizado.	2	Área total: 12000 cm <sup>2</sup>	24 ml	5.88 \$	

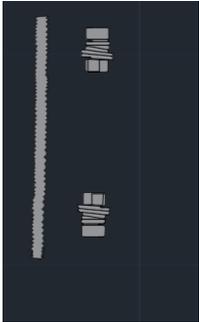
	universal, perfil "L".					
5	Perno máquina de acero galvanizado, tuerca, arandela plana y presión.	2	Área total: 49.26 cm <sup>2</sup>	0.98 ml	0.24 \$	
6	Perno pin de acero galvanizado, rosca plástica de 50 mm.	2	Área perno:62.86 cm <sup>2</sup> Área tornillos: 226.08 cm <sup>2</sup> Área total: 288.94 cm <sup>2</sup>	5.78 ml	1.42 \$	
7	Pie amigo de acero galvanizado, perfil "L".	2	Área total: 1118 cm <sup>2</sup>	22.36 ml	5.48 \$	
8	Varilla de armar preformada simple.	1	Área total: 196.74 cm <sup>2</sup>	3.93 ml	0.96 \$	
<b>TOTAL</b>			<b>15804.23 cm<sup>2</sup></b>	<b>100.07 ml</b>	<b>24.52 \$</b>	

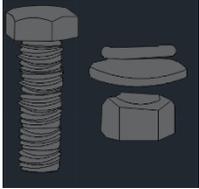
### Estructura Monofásica en Volado Retención

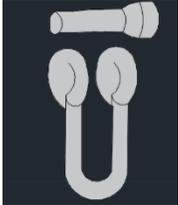
N°	Estructura	Cantidad	Área superficial de herraje (cm <sup>2</sup> )	Cantidad de nanopartículas (ml)	Costo para el uso del recubrimiento (\$)	Figura Referencial
1	Abrazadera de acero galvanizado, pletina, 4 pernos.	1	Área pernos: 300.6 6 cm <sup>2</sup> Área barras: 406 cm <sup>2</sup> Área total: 706.66 cm <sup>2</sup>	14.13 ml	3.46 \$	
2	Perno rosca corrida de acero galvanizado, 4 tuercas, 4 arandelas planas y 4 de presión.	3	Área perno: 91.29 cm <sup>2</sup> Área tornillos: 339.12 cm <sup>2</sup> Área total: 430.41 cm <sup>2</sup>	8.67 ml	2.13 \$	
3	Perno de ojo de acero galvanizado, 4 tuercas, 4 arandelas planas y 4 de presión.	1	Área total: 248.07 cm <sup>2</sup>	5 ml	1.22 \$	
4	Aislador de suspensión, caucho siliconado.	1	Área total: 135.20 cm <sup>2</sup>	2.70 ml	0.66 \$	
5	Cruceta de acero	2	Área total: 12000 cm <sup>2</sup>	240 ml	58.8 \$	

	galvanizado, universal, perfil "L".					
6	Perno máquina de acero galvanizado, tuerca, arandela plana y presión.	2	Área total: 49.26 cm <sup>2</sup>	0.98 ml	0.24 \$	
7	Pie amigo de acero galvanizado, perfil "L".	2	Área total: 1118 cm <sup>2</sup>	22.36 ml	5.46 \$	
8	Horquilla de acero galvanizado.	1	Área de la horquilla: 123.85 cm <sup>2</sup> Área del perno: 24.63 cm <sup>2</sup> Área total: 148.48 cm <sup>2</sup>	2.96 ml	0.73 \$	
9	Grapa de aleación de Al, terminal apernado, tipo pistola.	1	Área de Abrazaderas: 119.27 cm <sup>2</sup> Área de pistola: 217 cm <sup>2</sup> Área total: 336.27 cm <sup>2</sup>	13.45 ml	3.29 \$	
<b>TOTAL</b>			<b>15172.35 cm<sup>2</sup></b>	<b>310.25 ml</b>	<b>75.99 \$</b>	

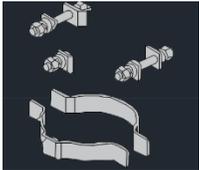
**Estructura Monofásica Volado Doble Retención**

N°	Estructura	Cantidad	Área superficial de herraje (cm <sup>2</sup> )	Cantidad de nanopartículas (ml)	Costo para el uso del recubrimiento (\$)	Figura Referencial
1	Abrazadera de acero galvanizado, pletina, 4 pernos.	1	Área pernos:300.6 6 Área barras: 406 cm <sup>2</sup> Área total: 706.66 cm <sup>2</sup>	14.13 ml	3.46 \$	
2	Perno rosca corrida de acero galvanizado, 4 tuercas, 4 arandelas planas y 4 de presión.	3	Área perno:94.29 cm <sup>2</sup> Área tornillos: 339.04 cm <sup>2</sup> Área total: 433.41 cm <sup>2</sup>	8.67 ml	2.13 \$	
3	Tuerca ojo ovalado de acero galvanizado.	1	Área total: 123.85 cm <sup>2</sup>	12.05 ml	2.95 \$	
4	Perno de ojo de acero galvanizado, 4 tuercas, 4 arandelas planas y 4 de presión.	1	Área total: 248.07 cm <sup>2</sup>	5 ml	1.22 \$	

5	Aislador de suspensión, caucho siliconado.	2	Área total: 270.4 cm <sup>2</sup>	5.40 ml	1.32 \$	
6	Cruceta de acero galvanizado, universal, perfil "L".	2	Área total: 12000 cm <sup>2</sup>	240 ml	58.8 \$	
7	Perno máquina de acero galvanizado, tuerca, arandela plana y presión.	2	Área total: 49.26 cm <sup>2</sup>	0.98 ml	0.24 \$	
8	Pie amigo de acero galvanizado, perfil "L".	2	Área total: 1118 cm <sup>2</sup>	22.36 ml	5.46 \$	
9	Perno pin de acero galvanizado, rosca plástica de 50 mm.	1	Área total: 164.52 cm <sup>2</sup>	3.30 ml	0.80 \$	
10	Varilla de armar preformada simple.	1	Área total: 196.74 cm <sup>2</sup>	3.93 ml	0.96 \$	

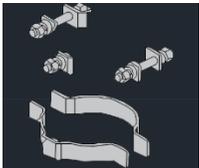
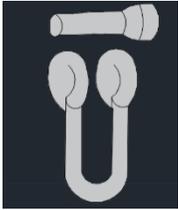
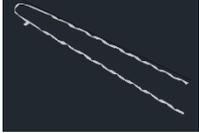
11	Conector de aleación de Al, compresión tipo "H".	1	Área total: 24.6 $cm^2$	0.49 ml	0.12 \$	
12	Horquilla de acero galvanizado.	2	Área de la horquilla: 247.7 $cm^2$ Área del perno: 49.26 $cm^2$ Área total: 296.96 $cm^2$	5.92 ml	1.46 \$	
13	Grapa de aleación de Al, terminal apernado, tipo pistola.	2	Área de Abrazaderas: 238.54 $cm^2$ Área de pistola: 434 $cm^2$ Área total: 672.54 $cm^2$	26.9 ml	6.58 \$	
<b>TOTAL</b>			<b>16305.01</b> <b><math>cm^2</math></b>	<b>349.13</b>	<b>85.5 \$</b>	

### Estructura Monofásica Bandera Doble Retención

N°	Estructura	Cantidad	Área superficial de herraje ( $cm^2$ )	Cantidad de nanopartículas (ml)	Costo para el uso del recubrimiento (\$)	Figura Referencial
1	Abrazadera de acero galvanizado, pletina, 3 pernos.	2	Área pernos:512.4 4 $cm^2$	26.48 ml	6.48 \$	

			Área de barras: 812 cm <sup>2</sup> Área total: 1324 cm <sup>2</sup>			
2	Aislador de suspensión, caucho siliconado.	2	Área total: 270.40 cm <sup>2</sup>	5.40 ml	1.32 \$	
3	Grapa de aleación de Al, terminal apernado, tipo pistola.	2	Área de Abrazaderas: 238.54 cm <sup>2</sup> Área de pistola: 434 cm <sup>2</sup> Área total: 672.54 cm <sup>2</sup>	26.9 ml	6.58 \$	
4	Tuerca ojo ovalado de acero galvanizado.	2	Área total: 247.7 cm <sup>2</sup>	24.20 ml	5.90 \$	
5	Conector de aleación de Al, compresión tipo "H".	1	Área total: 24.6 cm <sup>2</sup>	0.49 ml	0.12 \$	
<b>TOTAL</b>			<b>2539.24 cm<sup>2</sup></b>	<b>83.47</b>	<b>20.4 \$</b>	

### Estructura Monofásica Bandera Angular

N°	Estructura	Cantidad	Área superficial de herraje (cm <sup>2</sup> )	Cantidad de nanopartículas (ml)	Costo para el uso del recubrimiento (\$)	Figura Referencial
1	Abrazadera de acero galvanizado, pletina, 3 pernos.	1	<p>Area pernos:256.2</p> <p>2 cm<sup>2</sup></p> <p>Area barras: 406 cm<sup>2</sup></p> <p>Area total: 662.22 cm<sup>2</sup></p>	13.24 ml	3.24 \$	
2	Aislador de suspensión, caucho siliconado.	1	<p>Área total: 135.20 cm<sup>2</sup></p>	2.70 ml	0.66 \$	
3	Horquilla de acero galvanizado.	1	<p>Área de la horquilla: 123.85 cm<sup>2</sup></p> <p>Area del perno: 24.63 cm<sup>2</sup></p> <p>Área total: 148.48 cm<sup>2</sup></p>	2.96 ml	0.73 \$	
4	Tuerca ojo ovalado de acero galvanizado.	1	<p>Área total: 123.85 cm<sup>2</sup></p>	12.05 ml	2.95 \$	
5	Varilla de armar preformada simple.	1	<p>Área total: 196.74 cm<sup>2</sup></p>	3.93 ml	0.96 \$	

**TOTAL**

**1266.49 cm<sup>2</sup>**

**34.88 ml**

**8.54 \$**

---

Fuente: Unidades de propiedad

### **3.4.1. Conteo del número de estructuras monofásicas de medio voltaje instaladas en la ciudad de San Antonio de Ibarra.**

Para obtener el conteo de las estructuras se realizó una visita en el departamento de sistemas geográficos en la Empresa EMELNORTE, para tener un asesoramiento de cómo se puede extraer información de interés en base a las estructuras realizadas en una zona específica. Para ello se realizaron diversos pasos para la extracción de información:

#### **❖ Paso 1: Delimitar la zona de trabajo.**

Se obtuvo la ubicación de san Antonio mediante la aplicación de Google Maps, para mayor facilidad se marcó en el mapa de ciudad 15 puntos como referencia, con la finalidad de bordear sus límites y conseguir las coordenadas X y Y de los 15 puntos de referencia. Para la conversión de coordenadas de longitud y latitud a coordenadas métricas, se realizó la conversión en la tabla de Excel y se adquirió las coordenadas métricas necesarias para poder trabajar en el programa de Arcgis. Una vez obtenido los puntos se construyó una capa para delimitar la zona de San Antonio, para marcar el número de postes instalados que se encuentran en la ciudad, con la selección de postes nos permite identificar qué tipos de estructuras se encuentran instaladas.

#### **❖ Paso 2: Encontrar el número de estructuras instaladas.**

Una vez seleccionada la zona de trabajo se encontró con la tabla de atributos donde muestras las estructuras montadas en el poste, eliminando todas las estructuras que no pertenecen a las monofásicas de medio voltaje. Después se decidió la eliminación de las estructuras montadas en las líneas aéreas de bajo voltaje a las estructuras encontradas con anterioridad y como resultado se obtuvo el número de estructuras instaladas en la ciudad de San Antonio.

Se plasmó en una tabla para verificar la cantidad de estructuras instaladas que se puede visualizar en el apartado de ANEXOS E, donde se muestra la evidencia de lo realizado. En la TABLA 3.2. Se encuentra el número de estructuras instaladas que va a ser de utilidad para obtener un costo total.

TABLA 3.2. Cantidad de estructuras instaladas

<b>Estructuras Monofásicas de medio voltaje</b>				
<b>N°</b>	<b>Código</b>	<b>Medio y Bajo voltaje</b>	<b>Bajo Voltaje</b>	<b>Medio Voltaje</b>
1	1VR	7	0	7
2	1VP	13	0	13
3	1CR	287	6	281
4	1CP	342	6	336
5	1CD	43	0	43
6	1CA	68	1	67
7	1BD	3	0	3
<b>TOTAL</b>		<b>763</b>	<b>13</b>	<b>750</b>

Fuente: EMELNORTE

### 3.4.2. Costo total de las estructuras a cambiarse en la ciudad de San Antonio de Ibarra.

Una vez encontrado el número de estructuras se realiza el cálculo de estructuras que se deberían cambiar cuando se encuentren deterioradas, en la TABLA 3.3 se observa que en costo total para cambiar las estructuras monofásicas de medio voltaje es de 35173.14 \$, este cambio se lo realizaría en un tiempo de 20 años que es el tiempo de vida útil para cada herraje, considerando que el recubrimiento que tiene el herraje tiene la misma proporción de protección en galvanizado.

TABLA 3.3. Costo requerido para instalación y cambio de estructuras monofásicas

<b>N°</b>	<b>Estructura</b>	<b>Costo unitario (\$)</b>	<b>Costo de mano de Obra (\$)</b>	<b>Costo total de estructura (\$)</b>	<b>N° de estructuras Instaladas</b>	<b>Costo total para el cambio de</b>
1	1VR	149.63 \$	19.85 \$	169.48 \$	7	1186.36 \$
2	1VP	67.66 \$	20.39 \$	88.05 \$	13	1144.65 \$
3	1CR	36.95 \$	25.88 \$	62.83 \$	281	17655.23 \$
4	1CP	18.14 \$	9.38 \$	27.52 \$	336	9246.72 \$
5	1CD	68.73 \$	12.86 \$	81.59 \$	43	3508.37 \$
6	1CA	20.1 \$	10.72 \$	30.82 \$	67	2064.94 \$
7	1BD	73.66 \$	48.63 \$	122.29 \$	3	366.87 \$
<b>Total</b>		<b>434.87 \$</b>	<b>147.71 \$</b>	<b>582.58 \$</b>	<b>750 \$</b>	<b>35173.14 \$</b>

Fuente: EMELNORTE

El costo para la compra y e instalación de las estructuras para la ciudad de San Antonio es de 35173.14 \$ para el cambio en su totalidad, si deseamos la adquisición de uso de recubrimientos a base de nanopartículas el costo aumentaría, con la finalidad de disminuir el

desgaste producido por la humedad. La TABLA 3.4 muestra el costo de los recubrimientos a base de nanopartículas.

TABLA 3.4. Costo total de aplicación de recubrimientos nanotecnológicos.

N°	Código	Costo por unidad	Numero de estructuras	Costo total
1	1VR	75.99	7	531.93
2	1VP	38.47	13	500.11
3	1CR	9.22	281	2590.82
4	1CP	7.6	336	2553.6
5	1CD	17.23	43	740.89
6	1CA	8.6	67	576.2
7	1BD	20.4	3	61.2
	TOTAL	177.51	750	7554.75

Fuente: EMELTORTE

El costo es de 7554.75 \$ para recubrir 750 estructuras instaladas en el área de estudio y agregándole el costo de la compra e instalación de las estructuras es de 427227.89 \$ valor que se incrementa para obtener una protección superficial en los herrajes eléctricos.

### 3.4.3. Factibilidad para utilización de nanopartículas.

Para poder estudiar la factibilidad de la utilización de nanopartículas es necesario recubrir las estructuras eléctricas y determinar la factibilidad económica del mismo, se realizó una proyección utilizando el método matemático de regresión lineal, lo que nos permite proyectar a partir de los datos obtenidos llevándolo de la fase experimental a una cantidad de tiempo de duración, en un tiempo de afectación que se produce por los efectos de la humedad en las estructuras con recubrimiento y sin recubrimiento a 20 años, que es el tiempo de vida de una estructura normal sin recubrimiento, así podemos estimar cuanto tiempo podría alargarse el uso de una estructura antes de su cambio y si esto es beneficioso económicamente o no para su aplicabilidad.

La siguiente ecuación presenta el número de muestras obtenidas en el periodo experimental, el promedio de los valores de tiempo está relacionado con los días que se tomaron las muestra cada 5 días durante 4 meses, la sumatoria se extrae de los valores del tiempo elevándolos al cuadrado para emplearlos en la ecuación, el promedio de la resistencia está calculado a base de los datos obtenido, la variable del Tiempo de muestreo nos permite calcular el valor de la pendiente de la recta para posteriormente reemplazarla en la ecuación de la recta (3.7).

$$\alpha_1 = \frac{\sum x_i y_i - n \bar{x}_i \bar{y}_i}{\sum x_i^2 - n(\bar{x}_i)^2} \quad (3.5)$$

Donde:

$n$ : Número de muestras.

$\bar{x}_i$ : Promedio de los valores de tiempo.

$x_i$ : Tiempo de muestreo.

$\sum x_i^2$ : Sumatoria de valores en el tiempo al cuadrado.

$\bar{y}_i$ : Promedio de valores de resistencia.

$\alpha_1$ : Valor de la pendiente.

El valor de la pendiente de la recta es de 0.2145 y se procede a encontrar el valor dependiente, las variables mencionadas anteriormente se utilizan remplazarlas en la ecuación (3.6)

$$\alpha_0 = \bar{y}_i - \alpha_1 \bar{x}_i \quad (3.6)$$

A partir de haber encontrado el valor independiente que es de 12.951 y la pendiente de la recta se procede a formar y calcular la ecuación de la recta como se puede ver en la ecuación (3.7) y así obtenemos un estimado para la variación de resistencia de las estructuras con recubrimiento y remplazar los vales de  $x_i$  que viene a ser el tiempo en un año llevándolo valores de los 365 días.

$$y = \alpha_0 + \alpha_1 x_i \quad (3.7)$$

La Fig. 44. Muestra el comportamiento de la variación de resistencia llevada a un periodo de 365 días y así estimar el crecimiento de la resistencia en un tiempo a un año. El valor encontrado con la gráfica coincide con la ecuación 3.7 obteniendo un valor de 92.24  $\Omega$ .

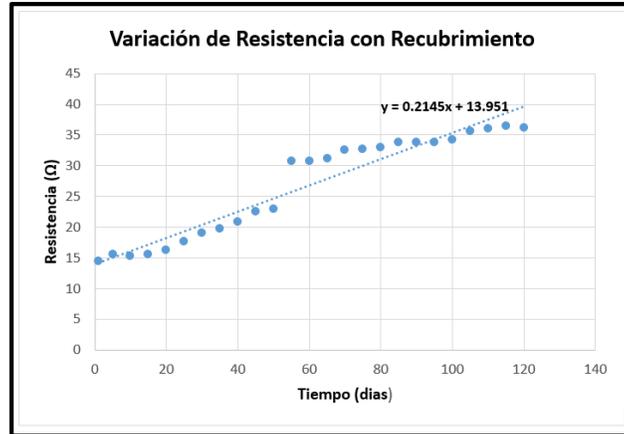


Figura 44. Variación de resistencia B

La variación de la estructura B hace referencia a la estructura que posee un recubrimiento superficial a base de nanopartículas. Además, para obtener valores de resistencia llevados a un periodo de 20 años se realiza el cálculo por año, realizando el proceso anterior para encontrar la nueva ecuación de la recta y sus complementos.

$$\alpha_1 = \frac{\sum x_i y_i - n \bar{x}_i \bar{y}_i}{\sum x_i^2 - n(\bar{x}_i)^2} \quad (3.5)$$

El proceso para el cálculo es el mismo y se obtiene un valor en la pendiente de 78.044, tomando como referencia las ecuaciones (3.5), (3.6) y (3.7) para encontrar los nuevos valores y graficar la recta progresiva.

Donde:

$n$ : Numero de muestras

$\bar{x}_i$ : Promedio de los valores de tiempo.

$x_i$ : Tiempo en años.

$\sum x_i^2$ : Sumatoria de valores en el tiempo al cuadrado.

$\bar{y}_i$ : Promedio de valores de resistencia.

$\alpha_1$ : Valor de la pendiente.

$$\alpha_0 = \bar{y}_i - \alpha_1 \bar{x}_i \quad (3.6)$$

El valor de la nueva pendiente aumenta por el incremento de los años a evaluar y el valor independiente es de 16.951, con estos dos valores se reemplaza en la ecuación 3.7.

$\alpha_1$ : Valor de la pendiente

$\alpha_0$ : Valor independiente.

$\bar{x}_i$ : Promedio de los valores de tiempo.

$\bar{y}_i$ : Promedio de valores de resistencia.

Se encuentra la nueva ecuación de la recta con los nuevos valores del valor independiente y la pendiente de la recta. Es necesario calcular los valores por cada año, los cálculos se encuentran en el ANEXO F. La Fig. 45 muestra el comportamiento de la gráfica y la ecuación a la que se desea llegar.

$$y = \alpha_0 + \alpha_1 x_i \quad (3.7)$$



Figura 45. Variación de Resistencia B

Elaborado: Autor

Se continúa con el proceso de cálculo para la estructura A que no presenta recubrimiento utilizando los valores de resistencia que se obtuvo en el proceso experimental, se utiliza el método matemático de regresión lineal, para un tiempo estimado de 20 años, que es el tiempo para realizar el cambio del herraje.

$$\alpha_1 = \frac{\sum x_i y_i - n \bar{x}_i \bar{y}_i}{\sum x_i^2 - n(\bar{x}_i)^2} \quad (3.5)$$

Se observa que el valor de la pendiente de es 0.254, mayor relacionado con la resistencia que presenta recubrimiento, se utiliza la ecuación (3.6) con los nuevos valores calculados y prestos para reemplazarlos y encontrar el valor de la pendiente.

Donde:

$n$ : Numero de muestras

$\bar{x}_i$ : Promedio de los valores de tiempo.

$x_i$ : Tiempo.

$\sum x_i^2$ : Sumatoria de valores en el tiempo al cuadrado.

$\bar{y}_i$ : Promedio de valores de resistencia.

$\alpha_1$ : Valor de la pendiente.

$$\alpha_0 = \bar{y}_i - \alpha_1 \bar{x}_i \quad (3.6)$$

La variación de resistencia del herraje A es de 13.933 mayor en el mismo tiempo de duración que la resistencia del herraje B, se observa que la ecuación a la que se debe llegar se muestra en la Fig. 46, que se calcula posteriormente.

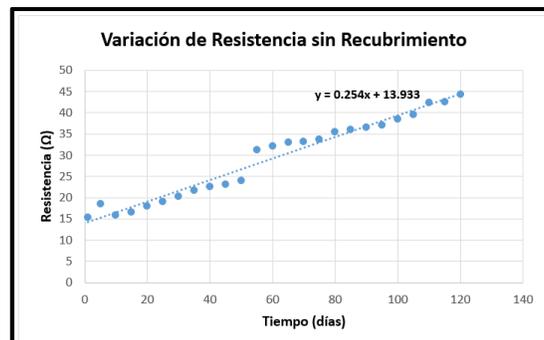


Figura 46. Variación de Resistencia A

Elaborado: Autor

Se decide usar la ecuación (3.7) para el cálculo del valor independiente que forma parte de la ecuación de la recta.

$\alpha_1$ : Valor de la pendiente

$\alpha_0$ : Valor independiente.

$\bar{x}_i$ : Promedio de los valores de tiempo.

$\bar{y}_i$ : Promedio de valores de resistencia.

Una vez encontrado el valor independiente y la ecuación de la recta, se calcula la nueva ecuación que será usada para encontrar la Fig. 47 que representa a la variación de la resistencia que no posee recubrimiento. Es necesario calcular los valores por cada año, los cálculos se encuentran en el ANEXO F.

$$y = \alpha_0 + \alpha_1 x_i \quad (3.7)$$

Los valores de la ecuación de la recta son mayores porque existió mayor desgaste en la pieza que no representa recubrimiento.



Figura 47. Variación de Resistencia A

Elaborado: Autor

En la Fig. 48. Se comparan las variaciones de resistencia con recubrimiento y sin recubrimiento y además se estima un aumento de vida útil para la estructura que posee el recubrimiento de 3 años, 8 meses y 5 días, que sumados con los 20 años llegamos a un tiempo de 23 años, 8 meses y 5 días.

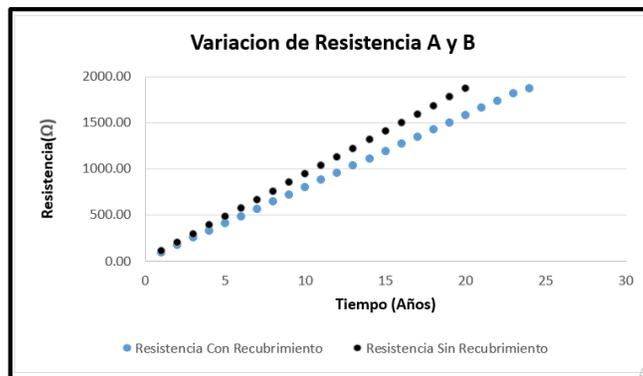


Figura 48. Variación de Resistencia pieza A y B

Elaborado: Autor

Los recubrimientos aportan una protección a largo plazo, aumentando la vida útil de cada uno de los herrajes que están expuestos a ambientes agresivos de humedad y por ende afectan a la estructura superficial, gastando poco a poco el recubrimiento galvanizado hasta que al final se quede la estructura sin ninguna protección iniciando el deterioro y desgaste de la pieza metálica.

## CONCLUSIONES

- ❖ El estudio realizado sobre los diversos tipos de recubrimientos a base de nanopartículas permite conocer el tipo más idóneo para la implementación en sistemas eléctricos, debido a que no todos los recubrimientos pueden ser aplicados, siendo las nanopartículas en estado líquido las que presentan las condiciones adecuadas para este tipo de trabajo, ya que pueden alcanzar toda la superficie de los herrajes eléctricos con una aplicación uniforme a comparación de las grasas y pinturas. El recubrimiento usado en el trabajo fue de nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  debido a sus propiedades de excelente adherencia, absorción y resistencia al calor en las piezas metálicas.
- ❖ Las afectaciones principales que se producen en los herrajes eléctricos van desde el blanqueamiento de la pieza sin recubrimiento, el valor de resistencia eléctrica que presenta la pieza sin recubrimiento tiene un aumento de  $46.20 \Omega$  en la pieza sin recubrimiento, mientras que pieza con recubrimiento llega valores del  $37.40 \Omega$ , se aplicó el método de gramaje para estudiar la cantidad de corrosión obteniendo el 0.9 gr de parte corroída de herraje sin protección. La prueba de resistencia superficial de la pieza mostro valores de  $0.009 \Omega$  del herraje sin recubrimiento, mientras que la pieza con recubrimiento tiene una resistencia superficial menor de  $0.003 \Omega$ , los resultados demuestran que existe una menor pérdida de resistencia en la pieza afectada y aumenta la vida útil del herraje instalado en condiciones de humedad.
- ❖ Para la adquisición y aplicación de las nanopartículas en la ciudad de San Antonio, se calcula un presupuesto de 7554.75 \$, que va a servir de protector para 750 estructuras monofásicas de medio voltaje y se estima que el tiempo de vida útil sin aplicar el recubrimiento se encuentra aproximadamente en 20 años y al agregar el recubrimiento el tiempo se extiende hasta los 24 años, después de este lapso de tiempo se debe cambiar los herrajes deteriorados por la pérdida del recubrimiento a base de nanopartículas y la pérdida del acero galvanizado.

## RECOMENDACIONES

- ❖ Realizar una investigación para método de síntesis más económicos para poder abaratar las síntesis de nanopartículas para que sea más eficientes a su uso.
- ❖ Realizar una investigación en la que el lugar de recubrimiento se modifica la estructura directamente del material para tener propiedades hidrofóbicas.
- ❖ Realizar una investigación con el tiempo de muestreo más extenso y con diferentes condiciones climáticas, modificando la salinidad del aire, para observar los efectos en condiciones más extremas.

## REFERENCIAS

- Aguirre, E. (2003). *¿Qué es la resistencia eléctrica?*. Obtenido de <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa2/article/view/1189/5305>
- Albella, J. (2019). Capas delgadas y modificación superficial de materiales. *Sociedad Española de materiales*, 16-17.
- Aller, G., Roble, M., & Pereira, F. (2018). Nanopartículas Cerámicas. *Actualidad Analítica*.
- Andrade, M., Díaz, L., & Cortés, D. (2013). Materiales nanoestructurados cerámicos como un vehículo para su liberación de principios activos. *redalyc.org*, 171- 177.
- Arduino. (2021). Módulo Relé. Obtenido de [http://ceca.uaeh.edu.mx/informatica/oas\\_final/OA4/mdulo\\_rel.html](http://ceca.uaeh.edu.mx/informatica/oas_final/OA4/mdulo_rel.html)
- Arduino. (2022). Overview of the Arduino IDE 1. 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). *¿Cómo y por qué se producen las humedades por condensación?*. Obtenido de <https://antihumedades.es/blog/como-y-por-que-se-producen-las-humedades-por-condensacion/>
- Ariza, C. (2015).  *síntesis de recubrimientos híbridos sol-gel ZrO<sub>2</sub> - SiO sobre aleaciones de magnesio wexx para aplicaciones a elevada temperatura*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Aspiazu, G. (11 de Enero de 2011). *Nanotecnología seca y húmeda*. Obtenido de <http://menteerrabunda.blogspot.com/2011/01/nanotecnologia-seca-y-humeda.html>
- automatismos, m. (2020). *Software Fritzing*. Obtenido de <https://automatismosmundo.com/que-es-el-software-fritzing/>
- 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>
- Bratu, N., & Campero, E. (2006). *Instalaciones Eléctricas*. Mexico: Alfaomega. Obtenido de [https://www.academia.edu/32192513/Instalaciones\\_Electricas\\_Bratu\\_2ed](https://www.academia.edu/32192513/Instalaciones_Electricas_Bratu_2ed)

- Cameleco. (13 de Mayo de 2017). Aisladores de porcelana y polímeros para redes eléctricas. Bogotá, Santa fé, Colombia.
- 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* (4a. ed.) Mèxico: Mc Graw Hill.
- Cobado, L. (2018). Aplicación de anorecubrimientos hidrófobicos sobre cartón. *Teinnova*, 18-20.
- Condumex. (2009). *Manual técnico de instalaciones eléctricas*. Obtenido de <https://www.uv.mx/personal/jdominguez/files/2012/10/Manual-de-Instalaciones-Elèctricas-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.
- De Miguel, R. (06 de Marzo de 2021). *¿Qué es un vaporizador facial?*. Obtenido de [https://elpais.com/elpais/2021/03/03/escaparate/1614775803\\_647170.html](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/>
- Electronics, M. (2017). *I2C interface for LCD*. Obtenido de <http://www.mantech.co.za/datasheets/products/lcd2004-i2c.pdf>
- Electronics, U. (2022). *Módulo Relevador 5V KY-019*. Obtenido de <https://uelectronics.com/producto/modulo-relevador-5v-ky-019/>
- Eneka. (2014). *Módulos Comunicación*. Obtenido de <https://www.eneka.com.uy/robotica/modulos-comunicacion/m%C3%B3dulo-interfaz-serail-i2c-detail.html>
- Euroquímica. (31 de Agosto de 2018). *Protective & Industrial Paints*. Obtenido de <https://euroquimica.com/tipos-de-pintura-industrial/>
- Farina, L. (2019). Tableros Elèctricos. *Suplemento Instaladores*, 64-65. Obtenido de [https://www.editores-srl.com.ar/revistas/ie/341/si\\_farina\\_tableros\\_electricos\\_riei\\_90364](https://www.editores-srl.com.ar/revistas/ie/341/si_farina_tableros_electricos_riei_90364)
- 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.
- Galvanorte. (2003). *Herrajes Eléctricos*. 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](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>
- Gomes, V. (2016). *Inovacion y Ciencia*. Obtenido de [https://innovacionyciencia.com/documentos/nanoparticulas\\_metalicas\\_y\\_sus\\_aplicaciones.pdf](https://innovacionyciencia.com/documentos/nanoparticulas_metalicas_y_sus_aplicaciones.pdf)
- Gómez, G. (2013). Nanopartículas de plata: tecnología para obtención, caracterización y actividad biológica. *medigraphic*, pp 18-22.
- González, F., Zarzuela, E., & Lama, J. (2011). *Nanotecnología y Nanoquímica*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Hernández, L. (2022). *LCD Liquid Crystal Display*. 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](https://www.academia.edu/44076674/Design_of_Motorcycle_Security_System_with_Fingerprint_Sensor_using_Arduino_Uno_Microcontroller?from=cover_page)
- Hulse, P. (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. (2018). *Recubrimientos Electrolíticos*. Obtenido de <http://icsaindustrial.es/que-son-y-para-que-se-usan-los-recubrimientos-electroliticos/>
- Infocorrosión. (2019). *Nanotecnología en Recubrimientos*. Obtenido de <https://infocorrosion.com/index.php/capacitacion/palabra-del-dia/item/1139-nanotecnologia-en-recubrimientos>

- itma, F., Oviedo, U. d., & INCAR. (2014). *Aplicaciones industriales de la nanotecnología*. Obtenido de <https://www.idepa.es/documents/20147/163848/AplicacionesIndustriales.pdf/6c110c65-76ef-fdfb-15dd-38c072d6e2ee>
- Lias, A. (2005). *Corrosión y degradación de los metales*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2771/1/CD-0553.pdf>
- Liu, T. (2016). *Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22 (DHT22 also named as AM2302)*. 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>
- MAC. (2022). *Tuerca de ojo*. Obtenido de <https://macrepresentaciones.com/producto/tuerca-de-ojo/>
- Manriquez, J. (2014). *Preparación de fotoánodos para la construcción de celdas solares Grätzel empleando placas de Ti grado industrial recubiertas con nanotubos de TiO<sub>2</sub>, tintes de tipo bipyridina-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\\_aisladores\\_parte\\_1?fbclid=IwAR0o5J5PwuWV8in2AZ1ryZGi\\_NFmnrn9SGvmRgmEveAUuRupx4jKDh0QDIM4](https://www.researchgate.net/publication/354035235_Analisis_de_flameo_en_aisladores_parte_1?fbclid=IwAR0o5J5PwuWV8in2AZ1ryZGi_NFmnrn9SGvmRgmEveAUuRupx4jKDh0QDIM4)
- Martínez, M. (2022). *Display LCD 2x16 Display LCD 2x16*. Obtenido de <https://www.steren.com.mx/display-lcd-2x16.html>
- Maxim, I. (2008). *DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer*. Obtenido de <https://datasheet.octopart.com/DS18B20-Maxim-Integrated-datasheet-34182709.pdf>
- Maya, J. (2021). *Manejo de corrosión en líneas de energía*. Obtenido de <https://www.zonadepinturas.com/201105242112/articulos/proteccion-de-superficies-y-control-de-corrosion/manejo-de-corrosion-en-lineas-de-energia.html>
- 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](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.
- 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.
- Montesinos, R., Romero, N., Pliego, L., & Vázquez, 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). *Recubrimientos Anticorrosivos Superhidrofóbicos en Oleoductos y Gasoductos Marinos*. 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. (2012). *La humedad estructural aumenta el riesgo de accidentes en la vivienda*. Obtenido de [https://www.murprotec.es/blog/la-humedad-estructural-aumenta-el-riesgo-de-accidentes-en-la-vivienda/?fbclid=IwAR0LWJsrYptizr4u79yFspKS\\_8toVKvX0qPIFr2ITtIzeSho1fqihSnr5Tc](https://www.murprotec.es/blog/la-humedad-estructural-aumenta-el-riesgo-de-accidentes-en-la-vivienda/?fbclid=IwAR0LWJsrYptizr4u79yFspKS_8toVKvX0qPIFr2ITtIzeSho1fqihSnr5Tc)
- Ortiz, E., Gonzales, J., & Vladez, M. (2019). Material compuesto con propiedades superhidrofóbicas resistentes a la corrosión a partir de partículas 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 Universidad 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.
- Patiño, D. (2016). *Nanotecnología contra la corrosión de materiales*. Obtenido de <http://www.cienciamx.com/index.php/tecnologia/materiales/10418-nanotecnologia-contra-la-corrosion-de-materiales>

- Pellegrotti, V. (2015). *Manipulación de fluorescencia molecular mediante nanopartículas metálicas*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires. Obtenido de [https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/collection/tesis/document/tesis\\_n5809\\_Pellegrotti](https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/collection/tesis/document/tesis_n5809_Pellegrotti)
- Pereira, M. (2017). *Metodos de dispersion y funcionalización de nanopartículas a base de carbono*. Porto: Universidad de porton. Obtenido de [https://sigarra.up.pt/fep/en/pub\\_geral.show\\_file?pi\\_doc\\_id=107746](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). *Aisladores eléctricos: Reseña historica*. Obtenido de [http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2016/09/Ing.-Alonso-Portella-Retuerto\\_compressed.pdf?fbclid=IwAR03jChFMFMjS9NW7StFR0kqswFeoALWACzRQA6E11bEHFiVpBjbeCPH0E](http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2016/09/Ing.-Alonso-Portella-Retuerto_compressed.pdf?fbclid=IwAR03jChFMFMjS9NW7StFR0kqswFeoALWACzRQA6E11bEHFiVpBjbeCPH0E)
- 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%20Y%20AP....pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR2s0QErDj8gkhCoRMh6yeWxhxXlbsl>
- Plastex. (2015). *Cooler 9 Litros*. 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., & López, V. (2008). Desarrollo de un fosfato silicoaluminoso, Metodos de síntesis . *Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 91-98.
- Ramírez, D. (2017). *Sintesis por sol-gel de un recubrimiento nanoestructurado de Tlo2 para ser aplicado en sustrato de vidrio*. Bogotá: Universidad de Bogotá .
- Rodriguez, M., & Campos, D. (2007). Metodo de síntesis y caracterización de un material del tipo fosfosilicoaluminoso. *ResearchGate*, 211-212.

- Rosas, J. (2019). *Síntesis y caracterización de zinc dopado de cromo (ZnGa<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Cr<sup>3+</sup>) recubierto con silice para su posible aplicación en áreas medicas*. California: Universidad Autónoma de Baja California.
- Sandoval, M., & Escamina, N. (2020). *Nanorecubrimientos*. 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>
- 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.
- 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>
- Transelec. (2013). *¿Qué Instrumentos se utilizan para la medición Eléctrica?*. Obtenido de <https://www.transelec.com.ar/soporte/18436/-que-instrumentos-se-utilizan-para-la-medicion-electrica/>
- Tucheng, D. (2019). *Aisladores de suspensión compuesta*. Obtenido de [https://es.tciinsulator.com/home/productdetail/AISLADOR-DE-SUSPENSION-COMPUESTA\\_69.html](https://es.tciinsulator.com/home/productdetail/AISLADOR-DE-SUSPENSION-COMPUESTA_69.html)
- UNAM, F. (2020). *Nanopartículas*. Obtenido de <https://www.fundacionunam.org.mx/unam-al-dia/la-unam-te-explica-que-son-las-nanopartículas/#:~:text=Una%20nanopartícula%20ser%C3%ADa%20entonces%20%E2%80%9Cuna,de%20Qu%C3%ADmica%20de%20la%20UNAM>.
- Valencia, U. d. (12 de Enero de 2020). *Fenómenos de Superficie*. Obtenido de [https://www.uv.es/tunon/QFIII/Nuevo\\_Tema\\_4.pdf](https://www.uv.es/tunon/QFIII/Nuevo_Tema_4.pdf)
- Villalba, L., López, P., Álvarez, M., & Fort, R. (2010). Comportamiento cristalino de las nanopartículas de portlandita (Ca(OH)<sub>2</sub>) en condiciones de alta humedad relativa. *Sociedad española de minerología*, p 103-104.

- Villora, M., Callejas, P., & Barba, F. (2002). Metodos de sintesis y comportamiento térmico del Hidroxiapatito. *Boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio*, 445- 446.
- 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. *nternational 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
- 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.
- 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.
- Zhengzhou. (2011). *Aislador Tipo Carrete de Porcelana*. Obtenido de <https://www.orientaisladores.com/aisladores-de-porcelana/aislador-tipo-carrete.html>
- Anquino, P. (2016). *sintesis y caracterización de nanopartículas de óxido de zinc obtenidas por el método de precipitación para su aplicación en pintura esmalte comercial*. Lima: Universidad Mayor Nacional de San Carlos .
- Bajenescu, T. (2020). Los conectores eléctricos en el mundo digitalizado. *EEA - Electrotehnica, Electronica, Automatica*, 37-43.
- Bello, J. (2018). *Recubrimientos modificados con nanopaticulas para el mejor la resistencia a la corrosión de aceros inoxidables pulvimetalurgicos*. Valladolid: Universidad de Valladolid .
- 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.

Naushar, A. B., Oystein, B., Marko, S., Joshua, J., Alyn, J., Denis, M., . . . Jean, V. (Mayo de 2016). *La corrosión: la lucha más extensa*. Obtenido de [https://www.slb.com/-/media/files/oilfield-review/03-corrosion-spanish?fbclid=IwAR2H1cRd42EQ1vX-HYeSxw7ijdJL-RSzaS\\_oG6Z3\\_YZTu\\_NHbNiurGSiaNc](https://www.slb.com/-/media/files/oilfield-review/03-corrosion-spanish?fbclid=IwAR2H1cRd42EQ1vX-HYeSxw7ijdJL-RSzaS_oG6Z3_YZTu_NHbNiurGSiaNc).

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.

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.

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.

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.

## ANEXOS

**ANEXO A:** Código Arduino del control de humedad.

### A. Designación de variables.

```
#include "DHT.h"
#include <OneWire.h> //Se importan las librerías
#include <DallasTemperature.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h> //Pantalla
#define SensorHumedad 2 // Pin al que se conecta la salida del arduino
#define DHTTYPE DHT22 // Tipo de sensor que vamos a usar(DH 22)
#define vaporizador 8
#define ventilador12 4
#define ventilador34 5
#define ventilador56 6
#define Pin 4 //Se declara el pin donde se conectará la DATA
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE); // Pantalla LCD
OneWire ourWire(Pin); //Se establece el pin declarado como bus para la comunicación OneWire
DallasTemperature sensors(&ourWire); //Se instancia la librería DallasTemperature
DHT dht(SensorHumedad, DHTTYPE); // Inicializa el sensor.
float sinVal;
int toneVal;
const int ZumHum = 13;
```

### B. inicialización de pines analógicos y digitales.

```
void setup()
{ Serial.begin(9600); // puerto serial a 9600 baudios.
  lcd.begin(20,4);
  lcd.clear();
  sensors.begin(); //Se inician los sensores
  dht.begin();
  pinMode(3,OUTPUT);
  pinMode(ZumHum,OUTPUT);
  pinMode(ventilador12, OUTPUT);
  digitalWrite(ventilador12, LOW);
  pinMode(ventilador34, OUTPUT);
  digitalWrite(ventilador34, HIGH)
```

```

pinMode(ventilador56, OUTPUT);
digitalWrite(ventilador56, HIGH);
pinMode(vaporizador, OUTPUT);
digitalWrite(vaporizador, LOW);
}

```

### **C. Programación de condiciones.**

```

void loop()
{ sensors.requestTemperatures(); //Prepara el sensor para la lectura
  lcd.setCursor(1, 0);
  lcd.print("UTN");
  lcd.setCursor(6,0);
  lcd.print("TEM:");
  lcd.print(sensors.getTempCByIndex(0)); //Se lee e imprime la temperatura en grados Celsius
  lcd.print("C");
  delay(3000);
  float h = dht.readHumidity();
  float t = dht.readTemperature();
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("CIMAN");
  lcd.setCursor(6, 1);
  lcd.print("HUM:");
  lcd.print(h);
  lcd.print("%\t");
  Serial.print("Temperatura: ");
  Serial.print(t);
  Serial.println(" C ");
  delay(3000);
  if((h<=55)||(h<=70)) {
digitalWrite(vaporizador,LOW);}
  else {
  digitalWrite(vaporizador,HIGH);
}
  if(h>=75) {
digitalWrite(ventilador12,LOW);
}
}

```

```

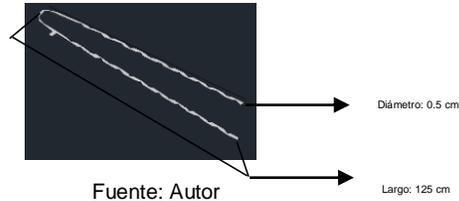
}
else {
    digitalWrite(ventilador12,HIGH);
}
if(h>=75.50) {
    digitalWrite(ventilador34,LOW);
}
else {
    digitalWrite(ventilador34,HIGH);
}
if(h>=75.80) {

    digitalWrite(ventilador56,LOW);
}
else {
digitalWrite(ventilador56,HIGH);
}
if(h>80) {
    digitalWrite(ZumHum,HIGH);
    delay(200);
    digitalWrite(ZumHum,LOW);
    delay(200);
    for(int x=0; x<180; x++){
        sinVal = (sin(x*(3.1412/180)));
        toneVal = 2000+(int(sinVal*1000));
        tone(7, toneVal);
        delay(2);
    }
}
else {
    noTone(7);
}
}

```

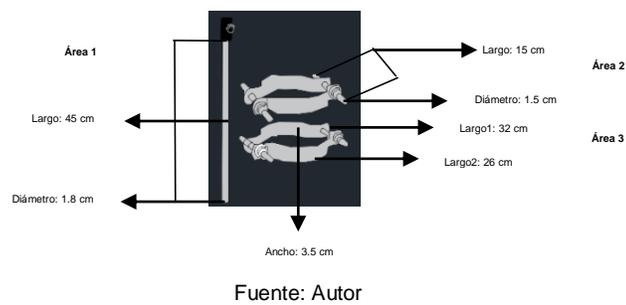
## ANEXO B: Cálculo del área superficial de herrajes.

### A. Varilla de armar preformada



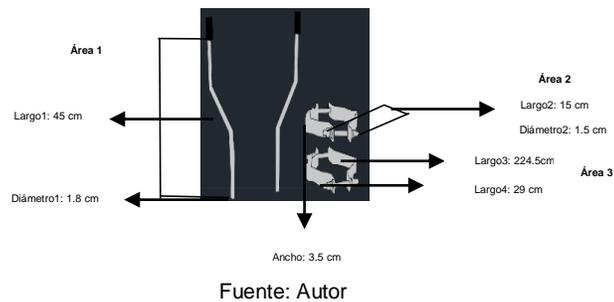
$$\begin{aligned}
 AT &= A1 + A2 \\
 AT &= L \times (2\pi r) + 2\pi \times (r^2) \\
 AT &= 125\text{cm} \times (2\pi \times 0.25) + 2\pi \times (0.25\text{cm})^2 \\
 AT &= 196.35\text{cm}^2 + 0.392\text{cm}^2 \\
 AT &= 196.742\text{cm}^2
 \end{aligned}$$

### B. Perno pin de punta de poste



$$\begin{aligned}
 AT &= A1 + A2 + A3 \\
 AT &= (L \times (2\pi r) + 2\pi \times (r^2)) + 4(L \times (2\pi r) + 2\pi \times (r^2)) + 2((L1 \times (2A) + (L2 \times (2A))) \\
 AT &= (45\text{cm} \times (2\pi \times 0.9\text{cm}) + 2\pi \times (0.9\text{cm})^2) + 4(15\text{cm} \times (2\pi \times 0.75\text{cm}) + 2\pi \times (0.75\text{cm})^2) \\
 &\quad + 2((29\text{cm} \times (2(3.5\text{cm})) + (24.5\text{cm} \times (2(3.5\text{cm}))) \\
 AT &= 257.02\text{cm}^2 + 296.84\text{cm}^2 + 749\text{cm}^2 \\
 AT &= 1302.86\text{cm}^2
 \end{aligned}$$

### C. Perno pin de doble punta de poste



$$AT = A1 + A2 + A3$$

$$AT = 2(L1 \times (2\pi r1) + 2\pi \times (r1^2)) + 4(L2 \times (2\pi r2) + 2\pi \times (r2^2)) + 2((L3 \times (2a1) + (L4 \times (2a1)))$$

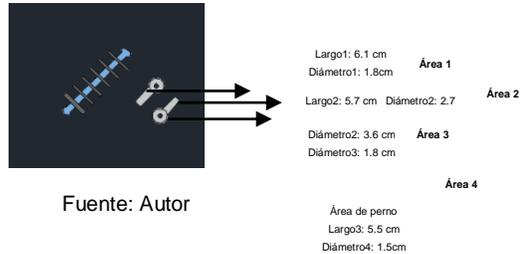
$$AT = 2(45\text{cm} \times (2\pi \times 0.9\text{cm}) + 2\pi \times (0.9\text{cm})^2) + 4(15\text{cm} \times (2\pi \times 0.75\text{cm}) + 2\pi \times (0.75\text{cm})^2)$$

$$+ 2((29\text{cm} \times (2(3.5\text{cm})) + (24.5\text{cm} \times (2(3.5\text{cm}))))$$

$$AT = 514.04\text{cm}^2 + 296.84\text{cm}^2 + 749\text{cm}^2$$

$$AT = 1559.88\text{cm}^2$$

### D. Aislador de suspensión



Fuente: Autor

$$AT = A1 + A2 + A3 + A4$$

$$AT = ((L1 \times (2\pi r1)) + (L2 \times (2\pi r1)) + (2(2\pi(r2)^2) + (2\pi(r3)^2)) + (L3 \times (2\pi r4) + (2\pi(r4)^2)))$$

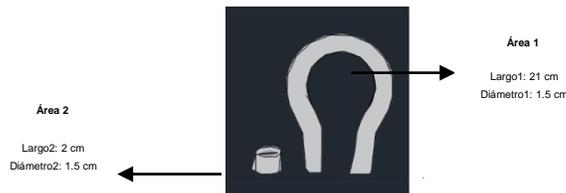
$$AT = ((6.1\text{cm} \times (2\pi \times 1.35\text{cm})) + (5.7\text{cm} \times (2\pi \times 1.35\text{cm})) + (2(2\pi(1.8\text{cm})^2) - (2\pi(0.9\text{cm})^2))$$

$$+ (5.5\text{cm} \times (2\pi \times 0.75\text{cm}) + (2\pi(0.75\text{cm})^2)))$$

$$AT = 51.74\text{cm}^2 + 48.35\text{cm}^2 + (11.31\text{cm}^2 - 1.65\text{cm}^2) + 29.45\text{cm}^2$$

$$AT = 135.2\text{cm}^2$$

### E. Tuerca de ojo.



Fuente: Autor

$$AT = A1 + A2$$

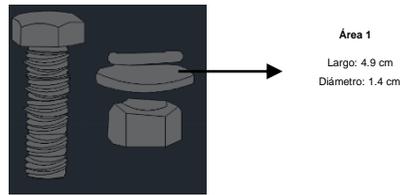
$$AT = ((L1 \times (2\pi r1) + (2\pi(r1)^2)) + (L2 \times (2\pi r2) + (2\pi(r2)^2)))$$

$$AT = ((21\text{cm} \times (2\pi \times 0.75\text{cm}) + (2\pi(0.75\text{cm})^2)) + (2\text{cm} \times (2\pi \times 0.75\text{cm}) + (2\pi(0.75\text{cm})^2)))$$

$$AT = 102.49\text{cm}^2 + 21.36\text{cm}^2$$

$$AT = 123.85\text{cm}^2$$

## F. Perno máquina.



Fuente: Autor

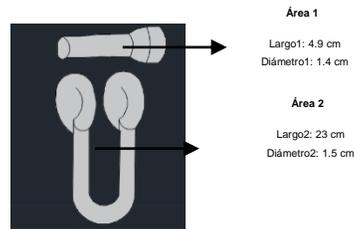
$$AT = A1$$

$$AT = ((L1 \times (2\pi r) + (2\pi(r)^2)))$$

$$AT = ((4.9\text{cm} \times (2\pi \times 0.70\text{cm}) + (2\pi(0.70\text{cm})^2)))$$

$$AT = 24.63\text{cm}^2$$

## G. Horquilla de acero.



Fuente: Autor

$$AT = A1 + A2$$

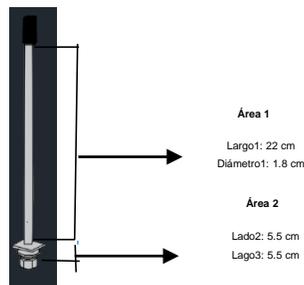
$$AT = ((L1 \times (2\pi r1) + (2\pi(r1)^2)) + (L2 \times (2\pi r2) + (2\pi(r2)^2)))$$

$$AT = ((4.9\text{cm} \times (2\pi \times 0.70\text{cm}) + (2\pi(0.70\text{cm})^2)) + (23\text{cm} \times (2\pi \times 0.75\text{cm}) + (2\pi(0.75\text{cm})^2)))$$

$$AT = 24.63\text{cm}^2 + 123.85\text{cm}^2$$

$$AT = 148.48\text{cm}^2$$

## H. Perno Pin.



Fuente: Autor

$$AT = A1 + A2$$

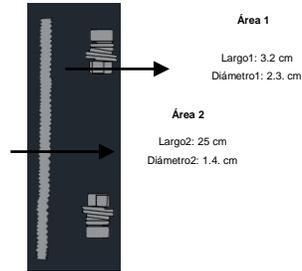
$$AT = ((L1 \times (2\pi r) + (2\pi(r)^2)) + (L2 \times L3))$$

$$AT = ((22\text{cm} \times (2\pi \times 0.9\text{cm}) + (2\pi(0.90\text{cm})^2)) + (5.5\text{cm} \times 5.5\text{cm}))$$

$$AT = 134.27\text{cm}^2 + 30.25\text{cm}^2$$

$$AT = 164.52\text{cm}^2$$

### I. Perno rosco de acero.



Fuente: Autor

$$AT = A1 + A2$$

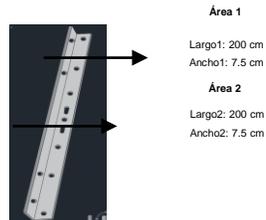
$$AT = ((L1 \times (2\pi r1) + (2\pi(r1)^2)) + (L2 \times (2\pi r2) + (2\pi(r2)^2)))$$

$$AT = ((3.2\text{cm} \times (2\pi \times 1.15\text{cm}) + (2\pi(1.15\text{cm})^2)) + (25\text{cm} \times (2\pi \times 0.7\text{cm}) + (2\pi(0.7\text{cm})^2)))$$

$$AT = 31.43\text{cm}^2 + 113.04\text{cm}^2$$

$$AT = 144.47\text{cm}^2$$

### J. Cruceta universal.



Fuente: Autor

$$AT = A1 + A2$$

$$AT = ((L1 \times 2a1) + (L2 \times 2a2))$$

$$AT = ((200\text{cm} \times 2 \times 7.5\text{cm}) + (200\text{cm} \times 2 \times 7.5\text{cm}))$$

$$AT = 3000\text{cm}^2 + 3000\text{cm}^2$$

$$AT = 6000\text{cm}^2$$

### K. Pie Amigo.



Fuente: Autor

$$AT = A1 + A2$$

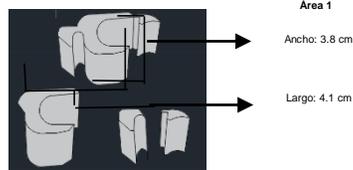
$$AT = ((L1 \times 2a1) + (L2 \times 2a2))$$

$$AT = ((70\text{cm} \times 2 \times 2.15\text{cm}) + (60\text{cm} \times 2 \times 2.15\text{cm}))$$

$$AT = 258\text{cm}^2 + 301\text{cm}^2$$

$$AT = 559\text{cm}^2$$

### L. Conector H.



Fuente: Autor

$$AT = A1$$

$$AT = (L1 \times 2a1)$$

$$AT = ((4.1\text{cm} \times 2 \times 3.8\text{cm}))$$

$$AT = 24.6\text{cm}^2$$

### M. Perno de ojo de acero.



Fuente: Autor

$$AT = A1 + A2$$

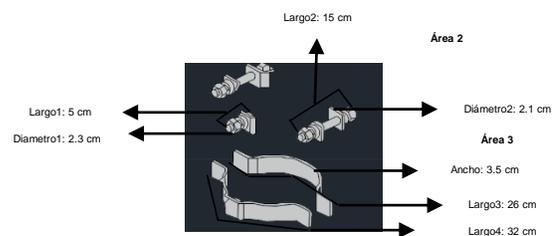
$$AT = ((L1 \times (2\pi r1) + (2\pi(r1)^2)) + (L2 \times (2\pi r2) + (2\pi(r2)^2)))$$

$$AT = ((26\text{cm} \times (2\pi \times 0.70\text{cm}) + (2\pi(0.70\text{cm})^2)) + (29\text{cm} \times (2\pi \times 0.70\text{cm}) + (2\pi(0.70\text{cm})^2)))$$

$$AT = 130.64\text{cm}^2 + 117.43\text{cm}^2$$

$$AT = 248.07\text{cm}^2$$

### N. Abrazadera de acero de 3 pernos.



Fuente: Autor

$$AT = A1 + A2 + A3 + A4$$

$$AT = ((L1 \times (2\pi r1) + 2\pi(r)^2) + 2(L2 \times (2\pi r2) + 2\pi(r2)^2) + (L3 \times 2a1) + (L4 \times 2a1))$$

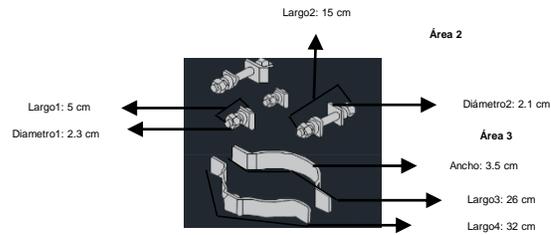
$$AT = ((5\text{cm} \times (2\pi \times 1.15\text{cm}) + 2\pi(1.15\text{cm})^2) + 2(15\text{cm} \times (2\pi \times 1.05\text{cm}) + 2\pi(1.05\text{cm})^2)$$

$$+ (26\text{cm} \times 2(3.5\text{cm}) + (32\text{cm} \times 2(3.5\text{cm})))$$

$$AT = 44.44\text{cm}^2 + 211.78\text{cm}^2 + 182\text{cm}^2 + 224\text{cm}^2$$

$$AT = 662.22\text{cm}^2$$

### Ñ. Abrazadera de acero de 4 pernos.



Fuente: Autor

$$AT = A1 + A2 + A3 + A4$$

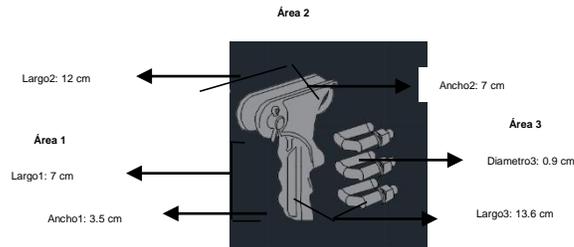
$$AT = 2((L1 \times (2\pi r1) + 2\pi(r)^2) + 2(L2 \times (2\pi r2) + 2\pi(r2)^2) + (L3 \times 2a1) + (L4 \times 2a1))$$

$$AT = 2((5\text{cm} \times (2\pi \times 1.15\text{cm}) + 2\pi(1.15\text{cm})^2) + 2(15\text{cm} \times (2\pi \times 1.05\text{cm}) + 2\pi(1.05\text{cm})^2) + (26\text{cm} \times 2(3.5\text{cm})) + (32\text{cm} \times 2(3.5\text{cm})))$$

$$AT = 88.88\text{cm}^2 + 211.78\text{cm}^2 + 182\text{cm}^2 + 224\text{cm}^2$$

$$AT = 706.66\text{cm}^2$$

### O. Grapa de aleación de aluminio.



Fuente: Autor

$$AT = A1 + A2 + A3$$

$$AT = ((L1 \times 2(a1)) + (L2 \times 2(a2)) + 3(L3 \times (2\pi r3) + 2\pi(r3)^2))$$

$$AT = ((7\text{cm} \times 2(3.5\text{cm})) + (12\text{cm} \times 2(7\text{cm})) + 3(13.6\text{cm} \times (2\pi \times 0.45) + 2\pi(0.45)^2))$$

$$AT = 49\text{cm}^2 + 168\text{cm}^2 + 119.27\text{cm}^2$$

$$AT = 336.27\text{cm}^2$$

## **ANEXO C: Medición de diámetro, ancho y largo de herrajes.**

### **A. Abrazadera de 3 pernos.**



Fuente: Autor

### **B. Cruceta Universal.**



Fuente: Autor

### **C. Pie amigo.**



Fuente: Autor

### **D. Perno pin de punta de poste simple.**



Fuente: Autor

**E. Perno máquina.**



Fuente: Autor

**F. Abrazadera de 4 pernos.**



Fuente: Autor

**G. Perno rosca de acero.**



Fuente: Autor

**H. Perno pin.**



Fuente: Autor

**I. Grapa tipo pistola.**



Fuente: Autor

**J. Aislador caucho siliconado.**



Fuente: Autor

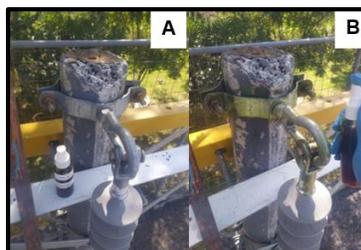
**K. Conector tipo H.**



Fuente: Autor

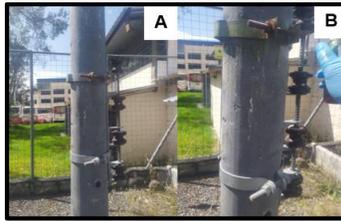
**ANEXO D: aplicación de recubrimientos en el patio para montajes de distribución en la carrera de CIELE.**

**A. Tuerca de ojo ovalada y abrazadera de 3 pernos.**



Fuente: Autor

**B. Abrazadera de 2 pernos.**



Fuente: Autor

**C. Aislador de porcelana.**



Fuente: Autor

**ANEXO E: Extracción de estructuras instaladas en San Antonio.**



Fuente: Autor



**E. Ordenamiento y eliminación de estructura que no pertenezcan a las estructuras monofásicas de medio voltaje.**



Fuente: Gis Emelhorte

**ANEXO F: Cálculo de las variaciones de resistencia por año.**

Sin Recubrimiento		Con Recubrimiento	
Años	Resistencia Sin Recubrimiento	Años	Resistencia Con Recubrimiento
1	106.643	1	92.24
2	199.353	2	170.54
3	292.063	3	248.83
4	384.773	4	327.12
5	477.483	5	405.41
6	570.193	6	483.71
7	662.903	7	562.00
8	755.613	8	640.29
9	848.323	9	718.58
10	941.033	10	796.88
11	1033.743	11	875.17
12	1126.453	12	953.46
13	1219.163	13	1031.75
14	1311.873	14	1110.05
15	1404.583	15	1188.34
16	1497.293	16	1266.63
17	1590.003	17	1344.92
18	1682.713	18	1423.22
19	1775.423	19	1501.51
20	1868.133	20	1579.80
		21	1658.09
		22	1736.39
		23	1814.68
		24	1868.13