



UNIVERSIDAD NACIONAL

“PEDRO RUIZ GALLO”

ESCUELA DE POSGRADO



DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

MECÁNICA Y ELÉCTRICA CON MENCIÓN EN ENERGÍA

“Aplicación de la energía solar transformada en energía eléctrica en el tratamiento de la biocorrosión por bacterias sulfooxidantes y ferroxidantes en acero de bajo carbono sumergido en agua”

TESIS

Presentada para optar el Grado Académico de Doctor en Ciencias de la Ingeniería Mecánica y Eléctrica con mención en Energía

AUTORES:

M.Sc. Mogollon Torres, Daniel Alberto

M.Sc. De La Oliva Diaz, Victor Hugo

ASESORA:

Dra. Cabrera Salazar, Tarcila Amelia

Lambayeque – Perú

2021

**“Aplicación de la energía solar transformada en energía eléctrica en el
tratamiento de la biocorrosión por bacterias sulfooxidantes y
ferroxidantes en acero de bajo carbono sumergido en agua”**

M.Sc. Mogollon Torres, Daniel Alberto
Autor

M.Sc. De La Oliva Diaz, Victor Hugo
Autor

Dra. Cabrera Salazar, Tarcila Amelia
Asesora

Tesis presentada a la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo para optar el Grado de: **Doctor en Ciencias de la Ingeniería Mecánica y Eléctrica con mención en Energía**

Aprobado por:

Dr. Luis Jaime Collantes Santisteban
Presidente

Dr. Victor Manuel Garcia Mesta
Secretario

Dr. Sebastian Huangal Scheineder
Vocal

Lambayeque, 2021

ACTA DE SUSTENTACIÓN

	ESCUELA DE POSGRADO <i>M. Sc. Francis Villena Rodríguez</i>	Versión:	01
		Fecha de Aprobación	29-8-2020
UNIDAD DE INVESTIGACION	<u>FORMATO DE ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS</u>	Pág. 1 de 3	

ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

Siendo las 14:30 p.m. del día lunes 26 de abril de 2021, se dio inicio a la Sustentación Virtual de Tesis soportado por el sistema Google Meet, preparado y controlado por la Unidad de Tele Educación de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo de Lambayeque, con la participación en la Video Conferencia de los miembros del Jurado, nombrados con Resolución N°1170-2019-EPG, de fecha 10 de septiembre de 2019, conformado por:

Dr. LUIS JAIME COLLANTES SANTISTEBAN	Presidente
Dr. VICTOR MANUEL GARCIA MESTA	Secretario
Dr. SEBASTIAN HUANGAL SCHEINER	Vocal
Dra. TARCILA AMELIA CABRERA SALAZAR	Asesora

Para evaluar el informe de tesis de los maestrantes DANIEL ALBERTO MOGOLLON TORRES y VICTOR HUGO DE LA OLIVA DIAZ candidatos a optar el grado de DOCTOR EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA CON MENCION EN ENERGIA con la tesis titulada "APLICACION DE LA ENERGIA SOLAR TRANSFORMADA EN ENERGIA ELECTRICA EN EL TRATAMIENTO DE LA BIOCORROSION POR BACTERIAS SULFOOXIDANTES Y FERROXIDANTES EN ACERO DE BAJO CARBONO SUMERGIDO EN AGUA".

El Sr. Presidente, después de transmitir el saludo a todos los participantes en la Video Conferencia de la Sustentación Virtual ordenó la lectura de la Resolución N° N°231-2021-EPG-VIRTUAL de fecha 20 de abril de 2021 que autoriza la Sustentación Virtual del Informe de Tesis correspondiente, luego de lo cual autorizó a los candidatos a efectuar la Sustentación Virtual, otorgándoles 30 minutos de tiempo y autorizando también compartir su pantalla.

Culminada la exposición de los candidatos, se procedió a la intervención de los miembros del jurado, exponiendo sus opiniones y observaciones correspondientes, posteriormente se realizaron las preguntas al candidato.

Culminadas las preguntas y respuestas, el Sr. Presidente, autorizó el pase de los

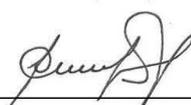
Formato : Físico/Digital	Ubicación : UI- EPG - UNPRG	Actualización:
--------------------------	-----------------------------	----------------

	ESCUELA DE POSGRADO <i>M. Sc. Francis Villena Rodríguez</i>	Versión:	01
		Fecha de Aprobación	29-8-2020
UNIDAD DE INVESTIGACION	<u>FORMATO DE ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS</u>	Pág. 2 de 3	

miembros del Jurado a la sala de video conferencia reservada para el debate sobre la Sustentación Virtual del Informe de Tesis realizada por los candidatos, evaluando en base a la rúbrica de sustentación y determinando el resultado total de la tesis con 18.43 puntos, equivalente a MUY BUENO, quedando los candidatos aptos para optar el Grado de DOCTOR EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA CON MENCION EN ENERGIA.

Se retornó a la Video Conferencia de Sustentación Virtual, se dio a conocer el resultado, dando lectura del acta y se culminó con los actos finales en la Video Conferencia de Sustentación Virtual.

Siendo las 15:55 se dio por concluido el acto de Sustentación Virtual.



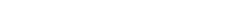
PRESIDENTE



SECRETARIO



VOCAL



ASESOR

En el Acta de Sustentación se evidencia el proceso de sustentación de tesis. La misma que ha sido refrendada por el jurado conformado por presidente, secretario y vocal, más no, se registra la firma del asesor, cuya labor efectiva es durante el proceso de elaboración de tesis y su presencia en el acto de sustentación de la tesis es voluntaria. Por lo tanto, su ausencia no invalida el acto de sustentación.

El/la sustentante cumple con los requisitos para la emisión de su grado académico correspondiente.

Lambayeque, 25 de junio de 2021

Formato : Físico/Digital	Ubicación : UI- EPG - UNPRG	Actualización:
--------------------------	-----------------------------	----------------

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, **Ing. Mogollon Torres, Daniel Alberto, Ing. De La Oliva Diaz, Victor Hugo**; Investigadora Principal y **Dra. Cabrera Salazar, Tarcila Amelia**, Asesora del trabajo de investigación “**Aplicación de la energía solar transformada en energía eléctrica en el tratamiento de la biocorrosión por bacterias sulfooxidantes y ferroxidantes en acero de bajo carbono sumergido en agua**”, declaramos bajo juramento que este trabajo no ha sido plagiado, ni contiene datos falsos. En caso se demostrara lo contrario, asumo responsablemente la anulación de este informe y por ende el proceso administrativo a que hubiere lugar. Que puede conducir a la anulación del título o grado emitido como consecuencia de este informe.

Lambayeque, 2021.

Nombres de los investigadores: M.Sc. Mogollon Torres, Daniel Alberto
M.Sc. De La Oliva Diaz, Victor Hugo

Nombre de la asesora: Dra. Cabrera Salazar, Tarcila Amelia

DEDICATORIA

A DIOS POR SU INFINITO AMOR Y
SER EL MOTOR DE MI VIDA

A MI AMADA ESPOSA PILAR POR
SU GRAN APOYO Y AMOR
INCONDICIONAL

A MI AMADO HIJO MATHIAS
ADRIAN

POR SER LOS MAS GRANDES TESOROS
QUE DIOS ME HA DADO Y POR DARME
GRANDES SATISFACCIONES.

A MIS PADRES VICTOR MANUEL,
MERY ELDER POR SU INFINITO AMOR
Y SACRIFICIO, APOYO EN MI
FORMACION PERSONAL Y
PROFESIONAL

DEDICATORIA

A DIOS POR QUE EL ES MI PASTOR Y

NADA ME FALTARA

A MIS ADORADOS PADRES

WALBERTO Y VICTORIA

A MI AMDO HIJO

CARLOS GABRIEL

POR HACER DE MI VIDA

CAOTICAMENTE HERMOSA

A MI AMADA ESPOSA MIRELA ZUCETI

POR REGALARME LO MAS HERMOSO

DEL MUNDO:

SER PADRE

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedicamos a la memoria de **Dr. Wilton Oswaldo Rojas Montoya** quien en vida fue un gran maestro, tutor y sobre todo un gran amigo ya que nos brindó siempre el consejo necesario para afrontar la vida profesional y personal, a él va dedicada esta tesis; ya que en todo momento nos incentivó a siempre seguir adelante y estudiando para alcanzar los objetivos y metas de carácter profesional, por eso a tu memoria querido amigo gracias por todo.

AGRADECIMIENTO

A nuestra alma mater y su Escuela de Postgrado, por habernos permitido desarrollarnos intelectualmente, para de este modo cumplir con nuestras metas en la vida.

A todo el personal técnico de nuestra alma mater por brindarnos el apoyo necesario para el desarrollo de este proyecto, ya que sin ellos no se habría realizado los procesos experimentales mil gracias señores técnicos de nuestra alma mater.

A todos los docentes del doctorado, por sus conocimientos y consejos brindados.

ÍNDICE

DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	ix
ÍNDICE.....	x
INDICE DE TABLAS	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN.....	17
CAPÍTULO I: ASPECTOS INFORMATIVOS.....	20
1.1. Título del Proyecto	20
1.2. Personal Investigador	20
1.3. Tipo de Investigación	20
1.4. Doctorado con Mención	20
1.5. Localidad e Institución donde se desarrollará el proyecto	20
1.6. Duración estimada del proyecto	20
CAPÍTULO II: ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA	22
2.1. Realidad Problemática y Planteamiento del Problema.....	22
2.2. Formulación del Problema	22
2.3. Justificación e Importancia del Estudio.....	22
2.4. Objetivos	23
CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO.....	25
3.1. Antecedentes del Problema	25
3.2. Base Teórica	32
3.2.1. Cinética de la Corrosión	32
3.2.2. Biocorrosión	33
3.2.2.1. Formas de biocorrosión	33
3.2.2.2. Identificación de la biocorrosión	35
3.2.2. El acero	35
3.3. Hipótesis.....	36
3.4. Variables.....	36
CAPÍTULO IV: MATERIALES Y MÉTODOS	38
4.1. Materiales	38
4.1.1. Material de Estudio.....	38

4.1.2. Equipos, Instrumentos, Herramientas e Insumos Equipos	38
4.2. Métodos	41
4.2.1. Diseño Experimental	41
4.2.2. Procedimiento Experimental	43
CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
5.1. Inicio de Pruebas	48
5.2. Velocidades de corrosión y potenciales de muestras de acero astm a-36 sin recubrimiento de corriente electrica	50
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
6.1. Conclusiones	54
6.2. Recomendaciones	54
CAPÍTULO VII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
CAPÍTULO VIII: ANEXOS	63
8.1. Procesamiento de datos para cálculos de la velocidad de corrosion y probetas de estudio	63
8.1.1. Cálculos de la velocidad de corrosión	63
8.1.2. Cálculos de la rapidez de corrosión sin protección catódica	63
8.1.3. Cálculos de la rapidez de corrosión con protección catódica	64
8.2. Procesamiento estadístico de datos	66
8.3. FICHA TÉCNICA DEL ACERO ASTM A-36.....	67
8.4. Norma ISO 8407	70
8.4.1. Alcance y Campo de Aplicación	70
8.4.2. Procedimientos	70
8.4.3. Reporte del Ensayo	70
8.5. Fotografías.....	71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ataque bacteriológico sobre una superficie metálica. Se forma una biopelícula o biofilm, generando un bulk bacteriano que en su interior genera las condiciones ideales para la biocorrosión.	34
Ilustración 2: Dimensiones de las muestras de acero ASTM A-36 usadas para los ensayos experimentales	38
Ilustración 3: Procedimiento de toma de datos.....	46
Ilustración 4: Acero ASTM A-36, sin ningún tipo de protección, sumergido en agua dulce.	50
Ilustración 5: Muestra de acero ASTM A-36 expuesta en agua dulce y bacterias después de ser protegida con corriente impresa, aún sin limpiar los productos de corrosión.	52
Ilustración 6: Muestra de acero ASTM A-36 protegida con corriente impresa, expuesta a bacterias en agua dulce, después de ser sometida a limpieza química.....	52
Ilustración 7: Toma de muestras de bacterias.....	71
Ilustración 8: Toma de muestras de bacterias.....	72
Ilustración 9: Diseño en Proteus.....	73
Ilustración 10: Implementación del circuito.....	73
Ilustración 11: Distribución de pines del regulador de voltaje variable LM317.....	74
Ilustración 12: Distribución de pines y encapsulado del transistor NPN 2N2222	74
Ilustración 13: Convertidor Voltaje DC-DC Step-Up-Down 1A LM2577S + LM2596S	75
Ilustración 15: Plancha de acero ASTM- A36.....	76
Ilustración 14: Balanza electrónica digital METTLER TOLEDO.....	75
Ilustración 16: A) Papel pH metro B) Vernier	76
Ilustración 17: Probetas muestrales asesorados por el Dr. Wilton Rojas Montoya.....	77
Ilustración 18: Probetas muéstrales	77
Ilustración 19: Datos técnicos del acumulador de corriente eléctrica y el panel solar	78
Ilustración 21: Equipo diseñado para el proceso experimental de tratamiento de biocorrosión.....	79
Ilustración 20: Sistema de conversión de corriente.....	78
Ilustración 23: Equipo para el proceso experimental de tratamiento de biocorrosión	80

Ilustración 22: Adición de agua destilada para el desarrollo de bacterias y el medio corrosivo para inicio de pruebas	80
Ilustración 24: Técnicas de preparación de caldo de cultivo de bacterias.....	81
Ilustración 25: Adición de bacterias al medio corrosivo para inicio de pruebas.....	82
Ilustración 26: Proceso de corrosión bacteriana	82
Ilustración 27: Realizando el conteo de bacterias por día para determinar índice de morbilidad, asesorados por el Dr. Wilton Rojas Montoya	83
Ilustración 28: Bacterias tomadas en el microscopio	83
Ilustración 29: Forma de conteo de bacterias microbiológicamente	83
Ilustración 30: Pesado de probetas previa limpieza con Norma ISO 8407	83

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Formas de biocorrosión	34
Tabla 2: Diagnóstico comercial para la detección de la biocorrosión en general	35
Tabla 3: Métodos empleados en la dispersión de muestras para detectar biocorrosión	35
Tabla 4: Variables dependientes e independientes	36
Tabla 5: Requerimiento Químico del Acero ASTM A-36.	38
Tabla 6: Niveles de la Variable Independiente y dependientes.....	42
Tabla 7: Diseño de la matriz experimental.....	42
Tabla 8: Tratamiento de intensidad de corriente por cada cuba de muestra.....	48
Tabla 9: Primera prueba: lunes: 10/02/2020 hora 8 am.....	48
Tabla 10: Segunda prueba: martes: 11/02/2020 hora 8 am.	48
Tabla 11: Tercera prueba: miércoles: 12/02/2020 hora 8 am.....	49
Tabla 12: Cuarta prueba: jueves: 13/02/2020 hora 8 am.....	49
Tabla 13: Quinta prueba: viernes: 14/02/2020 hora 8 am.	49
Tabla 14: Tratamiento de intensidad de corriente por cada cuba de muestra segunda etapa: Aumentando la intensidad de corriente al máximo permisible	49
Tabla 15: Tratamiento a las bacterias que sobrevivieron: miércoles.....	50
Tabla 16: Velocidades de corrosión y potenciales para las muestras de acero ASTM A-36 sin recubrimiento.	50
Tabla 17: Potenciales para el acero ASTM A-36	51
Tabla 18: Velocidades de corrosión del Acero ASTM A-36 sin ninguna protección.....	51
Tabla 19: Velocidades de corrosión de probetas de Acero ASTM A-36 protegidas catódicamente por corriente impresa a diferentes intensidades de corriente aplicada, después de estar expuestas a biocorrosión bacteriana.	65
Tabla 20: Resultados SPSS	66

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se transformó la energía solar en energía eléctrica y se estudió la influencia de la intensidad de corriente eléctrica en el índice de morbilidad de bacterias sulfoxidantes y ferroxidantes en el potencial de protección y del Acero ASTM A-36 recubierto catódicamente con corriente continua, sumergido en agua dulce.

En la recolección de datos se sumergieron en agua dulce, protegiendo catódicamente con corriente continua, muestras de Acero ASTM A-36, de 120 x 50 x 1,27 milímetros, por un periodo de tiempo de 120 horas. La determinación del índice de morbilidad de bacterias y la velocidad de corrosión se realizó por métodos gravimétricos (pérdida de peso).

Al observar los datos finales, se determinó que el Acero ASTM A-36, sumergido en agua dulce, requiere para su protección efectiva contra la biocorrosión de una intensidad de corriente eléctrica debe fluctuar entre 0.5 a 1.5 mA/m², con lo cual se logró evaluar que la cantidad de corriente eléctrica emitida a las placas de acero ASTM A-36 más idónea para la eliminación de bacterias corrosivas fue de 0.5 mA/ m²

Lo propuesto confirma que la protección catódica con corriente aplicada, es fundamental, pues nos permite llevar la estructura a sistemas termodinámicas de inmunidad y utilizando la energía solar transformada en corriente eléctrica ayudamos al medio ambiente. Sin embargo, no se debe aplicar demasiada corriente eléctrica por los peligros de daño por hidrógeno que genera una sobreprotección.

ABSTRACT

In the present research work, solar energy was transformed into electrical energy and the influence of the electric current intensity on the morbidity index of sulfoxidant and ferroxidant bacteria on the protection potential and of the ASTM A-36 Protected Steel was evaluated cathodically. with direct current, submerged in fresh water.

For data collection, rectangular ASTM A-36 steel specimens, 120 x 50 x 1.27 mm, were submerged in fresh water, cathodically protecting with direct current. for a period of 120 hours. The determination of the rate of bacterial morbidity and the rate of corrosion was performed by gravimetric methods (weight loss).

Observing the final results, it was established that ASTM A-36 Steel, submerged in fresh water, requires for its effective protection against biocorrosion an electric current intensity should fluctuate between 0.5 to 1.5 mA / m², with which it was possible to evaluate that the amount of electric current emitted to the most suitable ASTM A-36 steel plates for the removal of corrosive bacteria was 0.5 mA / m²

The proposal confirms that cathodic protection with applied current is essential, since it allows the structure to be brought to thermodynamic conditions of immunity and by using solar energy transformed into electric current, we help the environment. However, too much electrical current should not be applied due to the dangers of hydrogen damage caused by overprotection

INTRODUCCIÓN

Los daños causados por la corrosión, biocorrosión y degradación de los materiales a particulares y a la economía de un país proporcionan importantes razones para afirmar que, hoy en día, la más apremiante necesidad en la lucha contra este problema y es la de educar a todos los que operan en el campo específico de los metales y, en general, de los materiales o que tienen la responsabilidad del buen funcionamiento de las industrias y procesos, así como a la propia Administración, sobre los estragos provocados por estos fenómenos.

El uso racional de la energía solar y utilizarla en la protección catódica en sus diferentes formas tiene una importancia en el desarrollo de los países modernos. Las medidas preventivas tomadas para controlar la corrosión consisten, fundamentalmente en protección catódica y son sin duda los métodos más eficaces para controlar la corrosión en instalaciones enterradas o inmersas en medios acuosos. Se han diseñado métodos de protección para el acero que se encuentra expuesto a medios agresivos ácidos, pero esos métodos no alcanzan un equilibrio protección-coste-ambiente. Es en este marco de exigencias ambientales, económicas y técnicas surge la necesidad de desarrollar nuevos métodos de protección de acero estructural ASTM A-36 que permitan alargar su vida útil y garantizar la seguridad de las estructuras que conforma.

Uno de los métodos de menor contaminación para el medio ambiente es el método de aplicación de la energía solar transformada en corriente eléctrica el cual sería el más indicado para el uso de aceros en la industria alimentaria

EL desarrollo de nuevas tecnologías a creado la necesidad de cuidar los diferentes equipos industriales frente al deterioro diario de la corrosión es por eso que se han desarrollado una serie de formas para poder detener y controlar dicha corrosión.

Frente a esta problemática el problema objeto de estudio es: La influencia energía solar transformada en corriente eléctrica y tiempo de aplicación sobre el acero de bajo carbono ASTM A-36 en presencia de agua dulce podrá combatir el deterioro del acero de bajo carbono producido por bacterias sulfoxidantes y ferroxidantes. Para lo cual la hipótesis: A medida que incrementa la intensidad de corriente aplicada sobre el acero ASTM A-36 recubierto catódicamente por corriente continua expuesto a agua dulce se obtendrá una disminución de bacterias que producen biocorrosión con una variable

independiente (Intensidad de Corriente) y una variable dependiente (índice de morbilidad bacteriana).

La presente investigación permite alcanzar los objetivos:

- La evaluación de la intensidad de corriente de emisión es el método más óptimo para evitar la corrosión biológica y protección catódica del acero dulce ASTM- A 36

- Se llevan a cabo los tratamientos adecuados para prevenir la corrosión biológica del acero a estudiar y el rango efectivo de la fuerza de la corriente eléctrica catódica proporcionada se determina mediante experimentos de modo que el acero sea protegido contra la corrosión.

Con el presente tema de estudio se demuestra que la técnica de protección utilizada reduce drásticamente la rapidez de biocorrosión del acero ASTM A-36, asegurando de este modo que las estructuras a proteger no fallen por biocorrosión durante todo su tiempo de vida útil.

CAPÍTULO I:
ASPECTOS INFORMATIVOS

CAPÍTULO I: ASPECTOS INFORMATIVOS

1.1. Título del Proyecto

“Aplicación de la energía solar transformada en Energía Eléctrica en el tratamiento de la Biocorrosion (Bacterias Sulfooxidantes y Ferroxidantes) en acero de bajo carbono sumergido en agua”

1.2. Personal Investigador

Autor: Ing. Daniel Alberto Mogollon Torres

Autor: Ing. Victor Hugo De La Oliva Diaz

1.3. Tipo de Investigación

Aplicada – Experimental

1.4. Doctorado con Mención

Energia

1.5. Localidad e Institución donde se desarrollará el proyecto

Localidad: Lambayeque. Institución: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo-Escuela de Postgrado.

1.6. Duración estimada del proyecto

Un año

CAPÍTULO II:
ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA

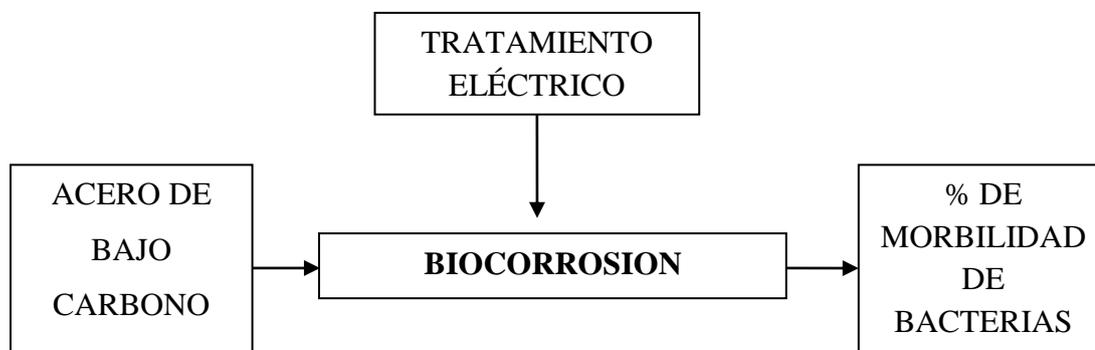
CAPÍTULO II: ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA

2.1. Realidad Problemática y Planteamiento del Problema

En un mundo con tantos avances tecnológicos, frente a los grandes problemas que presentan los metales y estructuras metálicas específicamente las fabricadas con aceros frente a la corrosión y biocorrosión, es imprescindible el cuidado de los materiales que conforman las diversas construcciones metálicas especialmente a las utilizadas en las industrias los cuales van a sufrir deterioro de la corrosión y biocorrosión.

2.2. Formulación del Problema

¿Cuál es la influencia de la intensidad de corriente eléctrica y tiempo de aplicación sobre la morbilidad de bacterias (sulfoxidantes y ferroxidantes) y rapidez de corrosión de acero ACTM A-36 en presencia de agua dulce?



2.3. Justificación e Importancia del Estudio

Debido a que es imprescindible el cuidado del medio ambiente y las diferentes construcciones realizadas con materiales metálicos específicamente aceros, los avances tecnológicos permiten utilizar los medios necesarios para poder proteger a estas construcciones metálicas contra los efectos de la corrosión y biocorrosión. Lo que daría como resultado un conjunto de construcciones más duraderas y por consiguiente el aspecto económico en las diferentes empresas que se utilizan y así también en nuestro país se verían beneficiados simplemente con un buen plan

estratégico de protección de dichas estructuras. Específicamente contra la biocorrosión que es la principal fuente de estudio del tema a tratar. Es decir, contra una serie de bacterias que son perjudiciales contra estos materiales.

2.4. Objetivos:

Generales:

Evaluar la aplicación de la energía solar transformada en electricidad para el tratamiento eléctrico y eliminar las bacterias sulfoxidantes y ferroxidantes calculando el % de morbilidad de bacterias.

Específicas:

Realizar un tratamiento adecuado para la separación de bacterias sulfoxidantes y ferroxidantes aplicadas al acero.

Estudiar el efecto del tiempo de aplicación de la corriente eléctrica sobre las bacterias para la morbilidad de estas.

**CAPÍTULO III:
MARCO TEÓRICO**

CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes del Problema

En la investigación realizada por Islem Ziadi sobre el mecanismo de biocorrosión del acero inoxidable 304L (SS), en contacto con aguas residuales no tratadas (UTWW) y aguas residuales tratadas (TWW) en términos de crecimiento de biofilm se monitorizaron y evaluaron mediante experimentos electroquímicos, exámenes de microscopía electrónica de barrido (SEM) y análisis microbiológicos (Ziadi et al., 2019).

Nagaraj M. en su estudio tiene como objetivo comprender la impedancia electroquímica y las características de biocorrosión de la aleación de Mg AZ91 en la solución de Ringer (Chelliah et al., 2019).

González y colaboradores, realizaron estudios en polímeros híbridos de tipo silanol modificados con nanopartículas de plata encapsuladas con SiO₂ para la protección de biocorrosión de la aleación de aluminio 2024-T3 se estudiaron mediante técnicas de caracterización electroquímica y análisis de superficie (Gonzales et al., 2019).

Por otro lado, P Abdul Rasheed en su estudio determina que el nano compuesto de quitosano-ZnO interconectado al 10% de ZnO (CZNC-10) es exitoso utilizado como biocida verde para controlar biopelículas y reducir la biocorrosión en sistemas de transporte de acero (Rasheed et al., 2018).

Jiang en su estudio construye un modelo basado en la investigación, a través de Ecotect simula la radiación solar para juzgar si el valor de salida de la energía solar puede satisfacer la demanda, considerando integralmente los factores ecológicos y económicos (Jiang et al., 2018).

Yingchao Li, Dake Xu manifiestan que los mecanismos de corrosión anaeróbicos influenciados microbiológicamente se interpretan usando bioenergética y bioelectroquímica (Li et al., 2018).

Mianmian Bao manifiesta que el tratamiento térmico podría mejorar significativamente las propiedades mecánicas, la resistencia a la corrosión y la tasa

antibacteriana debido a la redistribución de los elementos de cobre y la precipitación de la fase Ti_2Cu . El tratamiento con solución sólida aumentó el límite elástico de 400 a 740MPa y mejoró la tasa antibacteriana del 33% al 65.2%, mientras que el tratamiento de envejecimiento mejoró el límite elástico a 800e850MPa y la tasa antibacteriana ($> 91.32\%$) (Bao et al., 2018).

Palanisamy Karthikeyan en su trabajo discute la resistencia a la corrosión del acero inoxidable con copolímero y revestimientos compuestos de doble capa. El revestimiento compuesto de doble capa Ag-p (Py-co-EDOT) así obtenido era de naturaleza uniforme y altamente adherente a la superficie de acero inoxidable, en comparación con los revestimientos monocapa (Karthikeyan et al., 2018).

Chesnokova, analiza los defectos de corrosión en la superficie de oleoductos subterráneos en el territorio de la región autónoma de Khanty-Mansiysk (Ugra) mediante microscopía electrónica de barrido y cuantificación de bacterias tiónicas y reductoras de sulfato del suelo (Chesnokova et al., 2016).

Chesnokova M.G evalúa la actividad de corrosión del suelo en tuberías, determinando la gravedad de los factores microbiológicos. La evaluación de la gravedad de la actividad de biocorrosión del suelo permitió identificar un nivel suficientemente alto de muestras de suelo que tienen una actividad moderadamente corrosiva, sugiriendo que las tiobacterias tienen un papel considerable en el desarrollo de corrosión en tuberías subterráneas de metal y utilizan los hallazgos en las tendencias preventivas de validación (Shesnokova et al., 2015).

Delaunois en su estudio analiza la calidad de los recubrimientos galvanizados en caliente (HDG). Su microestructura, defectos, y comunes, observando diferentes tipos de corrosión demostrando que muchos tubos fabricados no alcanzan el estándar europeo (NBN EN 10240) encontrándose que el espesor promedio de la capa de zinc a 41 μm contra 55 μm prescrito por el estándar europeo, realizando pruebas electroquímicas encontrando que el paso limitante era la difusión de oxígeno, favoreciendo el crecimiento de bacterias anaerobias en tubos de acero (Delaunois et al., 2014).

Libert, sustenta que La corrosión anóxica de los contenedores metálicos y la radiólisis del agua producen H_2 , que potencialmente representa una fuente energética

abundante para el desarrollo microbiano, especialmente en este tipo de ambiente que contiene bajas cantidades de materia orgánica biodegradable. Además, de ello se forma productos de corrosión portadores de Fe^{+3} como la magnetita (Fe_3O_4) puede proporcionar aceptores de electrones para el desarrollo microbiano (Libert et al., 2013).

Hendrik Venzlaff en su investigación manifiesta que la corrosión del hierro se ve influenciada microbianamente por las bacterias reductoras de sulfato (SRB) se atribuye convencionalmente a la corrosión química del H_2S , la reducción abiótica de H^+ en el FeS depositado y el consumo biológico de H_2 formado químicamente ("catódico") (Venzlaff et al., 2013).

Durmoo y colaboradores, evalúan el comportamiento del acero inoxidable AISI 304L en contacto con el jugo de caña de azúcar. El acero inoxidable grado 304L se usa en gran medida en la industria de la caña de azúcar, pero la naturaleza ácida del jugo de caña de azúcar representa un serio desafío para mantener la vida útil de los componentes vitales. Manifestando hay aproximadamente 50 tipos diferentes de microorganismos presentes en la caña verde y que son muy activos. Estos microorganismos actuarán como contribuyentes a una caída bastante rápida del pH (pH ~ 3.1) del jugo de caña de azúcar una vez extraído (Durmoo et al., 2008).

Cayotopa y colaboradores, en el 2006 al evaluar el efecto de la corriente eléctrica aplicada a metales los cuales estaban sumergidos en solución salina se produjeron protecciones catódicas respectivas (Cayotopa et al., 2006)

Pantoja en 2001, evaluó tipos de ánodo de sacrificio y determino corrosión y su velocidad que también estaban sumergidas en soluciones salinas y determino que se pueden ser utilizadas (Pantoja y Cardenas, 2001).

Kim y Kim en 2001, al analizar el efecto de la temperatura en la protección catódica del Acero SPW 400 (0.25 %C, 0.04 %P, 0.04 %S) sumergido en agua subterránea sintética, en un rango de temperatura desde 25°C hasta 95°C , determinaron que al aumentar la temperatura, la densidad de corriente necesaria para su protección se incrementa desde 2.3×10^{-5} hasta 4.1×10^{-5} A/cm² (230 hasta 410 mA/m²), alcanzando un potencial de protección de -1350 mV respecto al ECS (-1484 mV Cu/CuSO₄), logrando controlar el incremento de la velocidad de corrosión, a

causa del aumento de la temperatura, en 0.13 mpy (3.3 μ m/año) a 25°C y 3.46 mpy (87.9 μ m/año) a 95°C (Kim y Kim, 2001).

García, en el año 2001, señala que antes que intervenga el fenómeno de polarización la densidad de corriente de protección del acero expuesto en agua de mar era de 5-100 mA/m². De manera similar la corriente de protección del material sin recubrimiento depende de las condiciones ambientales, las cantidades de oxígeno disuelto, la agitación y temperatura (García; 2001).

Magnin sostiene en su estudio en placas de hierro y titanio; placas que fueron sometidas a corrosión bacteriana en medios ácidos que contienen oxígeno disuelto para producir un material poroso para ser infiltrado por litio y utilizado como ánodo para baterías térmicas. Las fases ricas en hierro fueron atacadas selectivamente, y la presencia de bacterias *Thiobacillus ferrooxidans* en el electrolito aceleró la corrosión (Magnin et al., 1994).

Peng reconoce que las bacterias reductoras de sulfato (SRB) tienen un papel crucial en la corrosión acelerando los procesos electroquímicos siempre que las condiciones ambientales sean favorables (Peng y Park; 1994).

Pintado, realizó estudios con el objetivo de dilucidar el origen de las fallas de corrosión para implementar contramedidas efectivas para minimizar los efectos de biodeterioro. Con este propósito, se estudiaron 90 cables de la red de distribución, que muestran signos de corrosión química y biológica (Pintado y Montero; 1992).

Arellano en 1993, estimó como influye de la densidad de corriente y el espesor de pintura epóxica, analizando su velocidad de corrosión para aceros de bajo carbono protegido catódicamente con corriente directa, cuando está en solución del 3.5 por ciento en peso de NaCl; y determinó que, la corriente catódica aplicada fue de 201 μ A/m², con la cual se lleva al acero a un potencial de protección de -1000 mV (Calomel saturado), que transformando con respecto al electrodo de referencia Cobre/Sulfato de cobre, da un potencial igual a -926 mV para un espesor de pintura de 260 a 280 μ m, obteniéndose una velocidad de corrosión de 6.92 x 10⁻⁸ μ m/año (Arellano y Cardenas; 1993)

Michael J. Franklin y David White demostraron que los mecanismos de corrosión influenciada microbiológicamente dependen de las poblaciones de biopelículas, así como de los sustratos metálicos, y que este tipo de corrosión representa un fenómeno local en términos de distribución y actividad de biopelículas microbianas y actividad electroquímica. (Franklin y White; 1991)

Christine C. Gaylarde indica varias técnicas y discute su simplicidad, sensibilidad, economía y aplicaciones; para la cuantificación rápida de la actividad microbiana total o de microorganismos específicos involucrados en la corrosión. Estos incluyen recuentos viables usando portaobjetos, métodos de microscopio (epifluorescencia), análisis de componentes celulares (ATP, Ergosterol, fosfolípidos), métodos inmunológicos (tinción de anticuerpos fluorescentes, ELISA), mediciones de actividad (respiración, esterasas, reducción de sulfato) y el uso de sondas de genes (Gaylarde; 1990).

Guillén, determinó la causa de la corrosión en los pozos y concluyó que en el proceso de recolección de agua en un pozo revestido por tuberías metálicas se produjo cambios físicos, químicos y biológicos recomendando hacer el uso de protección catódica a los revestimientos de las tuberías de los pozos a trabajar.

Mastronardi y Nicolais correlacionaron las propiedades de protección de diferentes recubrimientos epóxicos con sus propiedades de transporte de agua, concluyendo que es necesario investigar la permeabilidad de oxígeno, la pérdida de adhesión de la interfase metal – recubrimiento y el coeficiente de difusión de las resinas aplicadas para una información útil de la capacidad de una pintura protectora.

Gervasi y colaboradores, estudiaron como afecta la concentración en volumen de pigmento (Cvp) en las propiedades de resistencia a la corrosión de las pinturas ricas en zinc, usando espectroscopia de impedancia electroquímica (EIE) combinado con mediciones de potencial de protección catódica, en donde muestras de acero naval pintadas fueron estudiadas durante la exposición a agua de mar durante 45 días. Los recubrimientos de pinturas ricas en zinc, PRZ, fueron preparados empleando un contenido de pigmento de zinc en un rango de concentración de 77 – 88%, los resultados mostraron que las muestras preparadas con valores de $C_{vp} > 86\%$ se deterioraban más rápidamente que los paneles pintados con contenido de pigmentos

relativamente bajos. El comportamiento corrosivo de las muestras de acero pintadas con PZR con concentración de zinc en el rango de 78 – 86% determinó que es prácticamente independiente del Cvp. El efecto de protección catódica en acción durante un tiempo de inmersión de 45 días aumenta porque estos recubrimientos de pintura de resina alquídica se comportan como una capa porosa en la superficie. A condiciones menos agresivas a las ofrecidas por el agua de mar artificial, los recubrimientos alquídicos ricos en zinc con un Cvp en el rango de 78 – 86% parecen proveer una mayor protección frente a la corrosión de sustratos de acero, que otros tipos de PRZ comúnmente usadas.

Abreu, estudió el comportamiento de protección contra la corrosión de una pintura epóxica rica en zinc (ZRP) en una solución al 3% de NaCl, concluyendo que la pérdida de protección catódica es debido a un doble efecto: la disminución de la relación de área Zn/Fe debido a la corrosión del Zn y a la pérdida de contacto eléctrico entre las partículas de Zn. Incluso cuando el efecto de protección catódica por el polvo de Zn se hizo débil, el sustrato de acero todavía es protegido contra la corrosión debido a la naturaleza de barrera de la película de ZRP reforzada por productos de corrosión del Zn.

García, logró reportar que los cambios de velocidad de la corrosión de aceros en el mar dependen también de los lugares ricos en oxígeno disuelto los cuales nos dan rangos de corrosión de 50 a 270 μ /año (García; 2001).

Kim y Kim, al estudiar la variación de la temperatura sobre la protección catódica del acero SPW 400 (0.25%C, 0.04 %P, 0.04%S) sumergido en agua subterránea sintética, en un rango de temperatura desde 25°C hasta 95°C, determinaron que al aumentar la temperatura, la densidad de corriente necesaria para su protección se incrementa desde 2.3×10^{-5} hasta 4.1×10^{-5} A/cm² (230 hasta 410 mA/m²), alcanzando un potencial de protección de -1350 mV respecto al electrodo de calomelanos saturado, ECS, logrando controlar la velocidad de corrosión, a causa del aumento de la temperatura, a valores de 0.13 mpy (3.3 μ /año) a 25°C y 3.46 mpy (87.9 μ /año) a 95°C (Kim y Kim; 2001).

Robles, calculó y determinó como influye la densidad de corriente en el potencial de protección y la rapidez de corrosión del acero de protección catódica

sumergido en agua subterránea natural para protección de corriente continua; la conclusión es que el rango de protección efectivo es 200-400 en relación con el Cu/saturado.

Carranza y Sánchez, evaluaron la densidad de corriente en latón de acuerdo a su potencial y se procedió a protegerlo catódicamente, ya que se encontraban sumergidos en agua natural de tipo subterránea y se concluyeron rangos efectivos de densidad de corriente entre 818 a 887 mA/m², con lo que se consiguieron llevar a la fundición a valores de potencial de protección en un rango de -1345 a -1431 mV (respecto al electrodo de Cu/CuSO₄).

Cantuarias y Vásquez, estudiaron como influye la densidad de corriente catódica aplicada en la rapidez de corrosión y el potencial de protección del acero dulce protegido con resinas epóxica y con defectos superficiales debajo del agua de mar artificial creada en el laboratorio, concluyendo que el valor máximo y el mínimo efectivo de densidad de corriente catódica para protección es de 17 y 23 mA/m². Los potenciales de protección obtenidos se encontraron en un rango de -1118 y -1188 mV (respecto al electrodo de Cu/CuSO₄). De igual manera a esas densidades de corriente de protección le corresponden velocidades de corrosión entre 10.3 y 20.6 μm/año. Se encontró que la pintura epóxica les da un poder de protección adecuado para la corrosión dependiendo del grado de superficie tratada y de esa manera se reduce el proceso de corrosión en rangos de 13.4 y 30.9 μm/año.

Taboada y Zavala, llevaron a cabo el proceso de evaluación de cómo influye la corriente catódica en el potencial electroquímico y determinaron la rapidez de corrosión del acero con bajo contenido de carbono y el cobre debajo del agua de mar, concluyendo que el valor máximo y el mínimo de la densidad de corriente catódica ASTM A-36 es de 525 y 600 mA / m², a potenciales de protección en un rango de -803 – 819mV. La rapidez de corrosión está entre 2.03 y 38.0 μm / año y entre 2.0980 y 0.8823 mpy.

En una investigación realizada por la licenciada Dolores Segura Pachón se logró identificar bacterias pertenecientes a las especies *Thiobacillus ferrooxidans*, *Leptospirillum ferrooxidans*, *T. thiooxidans*, y bacterias ferroxidantes termófilas moderadas (Segura, 1998).

En otra investigación realizada por Stefania Troncozo Ruiz acerca de los efectos de la biocorrosión en materiales aeronáuticos, se corroboró a nivel de laboratorio la existencia de daños en todas las probetas expuestas las cuales sufrieron ataques químicos y la existencia de microorganismos que interactúan con el cloruro de sodio que se forma en el medio ambiente, llegándose a determinar el alto grado de biocorrosión en dichos materiales aeronáuticos.

En la investigación realizada por Pamela Chávez y colaboradores sobre biocorrosión en pozos de agua en la arena de Atacama. Se logró diagnosticar y prevenir la biocorrosión en pozos de agua (Chávez et al., 2006).

En otra investigación realizada por Muñoz y colaboradores sobre el estudio de la oxidación bacteriana de sulfuros con *Acidithiobacillus ferrooxidans* mediante pruebas de FTIR y difracción de rayos X, se logró determinar que la bacteria tiene acción catalizadora sobre el proceso de disolución del mineral (Muñoz et al., 2003).

3.2. Base Teórica

3.2.1. Cinética de la Corrosión

La rapidez del proceso corrosivo, es función directa de la corriente que se obtiene de la celda galvánica en cortocircuito y el tiempo de exposición al medio corrosivo. Esto se resume en la segunda ley de Faraday.

Dónde:

W = Gramos de metal disuelto.

I = Intensidad de la corriente circulante, Amperios.

t = Tiempo de exposición al medio corrosivo acuoso (electrolito), s.

A = Peso atómico del metal.

n = Electrones transferidos

F = Constante de Faraday. [15]

$$W = \frac{ItA}{nF} \dots\dots\dots (\alpha)$$

En ocasiones, la corrosión acuosa promedio de un metal se indica en términos de densidad de corriente i , que se suele expresar en unidades de amperios/cm². Sustituyendo I por i , la ecuación 2.4 se convierte en:

$$\frac{w}{st} = \frac{iA}{nF} \dots\dots\dots (\beta)$$

Dónde: $i = I / S$. El resto de las magnitudes son las mismas que las relacionadas para la ecuación α . [18]

3.2.2. Biocorrosión

Es el deterioro que sufren los metales en presencia de microorganismos.

3.2.2.1. Formas de biocorrosión

Biodeterioro de las preocupaciones materiales de todos los sectores de la industria donde el material está expuesto a ambientes húmedos.

Si la corrosión o la biocorrosión evocan inmediatamente los materiales metálicos, acero inoxidable o de carbono, aleaciones de cuproníquel, no hay que olvidar la resina de concreto y otros materiales compuestos.

Tabla 1: Formas de biocorrosión

Forma de corrosiones	Causas	Razones
Generalizadas	Electroquímica a la corrosión: anódica de oxidación del metal y la reacción catódica de reducción del oxígeno disuelto.	El oxígeno y los oxidantes Humedad Contaminación Temperatura
	Acidificación de los locales, presencia de bacterias galvánica de acoplamiento, localizada la fractura de la película de protección bajo el efecto de la química local o deformaciones.	El oxígeno y los oxidantes Biofilm Cloruros Local pH Mecánica limitaciones La heterogeneidad de los materiales



Ilustración 1. Ataque bacteriológico sobre una superficie metálica. Se forma una biopelícula o biofilm, generando un bulk bacteriano que en su interior genera las condiciones ideales para la biocorrosión.

3.2.2.2. Identificación de la biocorrosión

Tabla 2: Diagnóstico comercial para la detección de la biocorrosión en general

Nombre comercial	Principio	Fabricante
METODO 1	Crecimiento y producción de Sulfuro de hidrogeno en medio sólido.	Biosan Laboratories Inc., Warren. MI, USA
METODO 2	ELISA para determinación de la enzima APS.	Strategic Dianostic Inc., Newark DE, USA
METODO 3	determinación de la enzima hidrogenasa por reacción colorimétrica.	Caproco International Inc., Conroe, TX, USA
METODO 4	Crecimiento y producción de sulfuro de hidrogeno	Bioindustrial Technologies Inc., Georgetown, TX, USA

Tabla 3: Métodos empleados en la dispersión de muestras para detectar biocorrosión

Diluyentes	Aditivos	Métodos de dispersión
Se utilizo agua destilada, soluciones salinas con pH adecuado, agua de mar hecha en el laboratorio, medio de cultivo	- Utilizamos agentes redox para aislamiento bacteriano - Agentes tensioactivos para remover celular de muestras particuladas.	- Los procesos de agitación fueron manual y eléctrico. - Se utilizo homogeneizador y ultrasonidos de baja frecuencia

3.2.2. El acero

El acero al carbono es el más corriente, económico y aplicable de los metales que son usados en las industrias. Tiene, buena ductibilidad que le permite ser utilizado en varias operaciones de formado en frío.

El acero se puede soldar con facilidad, las características del acero, que se emplean en las industrias de procesos tienen una resistencia de tracción dentro del nivel de 345 a 485 MPa (50000 a 70000 lbf/in²) con buena ductibilidad. El acero al carbono se utiliza de manera habitual con la mayoría de los compuestos químicos orgánicos y con soluciones acuosas neutras o básicas a temperaturas moderadas. También se emplea con frecuencia para almacenar ácido sulfúrico y soda cáustica. El acero inoxidable se define como una aleación de hierro con un mínimo de 10% de cromo contenido en masa.

3.3. Hipótesis

Si se aumenta el tiempo y la intensidad de corriente eléctrica sobre el sistema acero de bajo carbono en agua; el índice de morbilidad de las bacterias sulfoxidantes y ferroxidantes aumentará.

3.4. Variables

Tabla 4: Variables dependientes e independientes

Variables independientes	Niveles de estudio
TRATAMIENTO ELÉCTRICO	a1: 5 días
	a2: 5 días
	a3: 5 días
	b1: 0.5 Miliamperios
	b2: 1.0 Miliamperios
	b3: 1.5 Miliamperios
Variables dependientes	
MORBILIDAD DE BACTERIAS (colonias/cm ³)	

CAPÍTULO IV:
MATERIALES Y MÉTODOS

CAPÍTULO IV: MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Materiales

4.1.1. Material de Estudio

Para el presente estudio se utilizó como material de estudio muestras de acero ASTM A-36 con dimensiones de 120 x 50 x 1.27 mm, como se muestra en la ilustración 02.

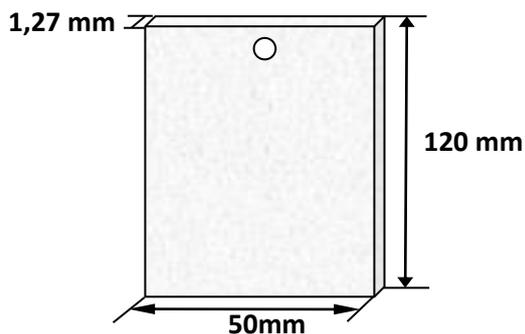


Ilustración 2: Dimensiones de las muestras de acero ASTM A-36 usadas para los ensayos experimentales

Tabla 5: Requerimiento Químico del Acero ASTM A-36.

C	Mn	P	S	Si
0.25 max.	0.8 -1.20 ($\text{Ø} > 3/4''$)	0.040max.	0.050 max.	0.40 max.

4.1.2. Equipos, Instrumentos, Herramientas e Insumos Equipos

- Balanza analítica. Sensibilidad 0.0001 g.
- Rectificador de Corriente Continua regulable de 0 a 10A.
- Transformador con tensión de salida de 12V.
- Baterías o acumuladores.

- Cubetas de vidrio de 20x 40 x 25 cm.
- Incubadora
- Estufa
- Mufla
- Termómetro digital de 0 – 150°C
- Termómetro digital de -10 a 100°C
- Cámara de fermentación
- Crisol
- Luna de reloj
- Vasos de precipitado
- Matraces
- Pipetas
- Micropipetas
- Fiolas
- Probetas
- Frascos de vidrio
- Paneles solares
- Pissetas
- Cubas electrolíticas
- Acero de bajo carbono
- Amperímetros

- Relojes
- Voltímetro
- Placas de carbón
- Agua destilada
- Microscopio
- Porta objetos
- Cubre objetos
- Cámara fotográfica

INSTRUMENTOS

- Contra electrodos de grafito.
- Papel indicador de pH “PANPEHA”
- Multitesters digitales marca PRASEK.
- Cámara fotográfica digital.
- Vaso de precipitación de 1L.
- Pistola para soldadura eléctrica.
- Vernier.

HERRAMIENTAS

- Alicates.
- Juego de desarmadores.
- Tijeras.
- Navaja.

- Sierra de arco.

INSUMOS

- **Insumos para limpieza:** Agua destilada, ácido clorhídrico al 10 %, hexametenotetramina químicamente puro, hidróxido de sodio al 90 %.
- **Insumos para el electrolito:** agua destilada de la ciudad universitaria de la universidad nacional Pedro Ruiz Gallo
- Material para desbaste: Lijas al agua # 80, 180, 280, 600.
- Material aislante: soldimix y silicona.
- Material para codificación: Cinta Masking Tape, lapicero de tinta indeleble.
- Material para suspender las probetas: Alambre de nylon.

4.2. Métodos

4.2.1. Diseño Experimental

El diseño experimental que se usó para el análisis de resultados de las pruebas experimentales fue el diseño bifactorial con una variable independiente (Intensidad de Corriente) y una variable dependiente (índice de morbilidad de bacterias), considerándose 9 niveles para la variable independiente, con tres réplicas donde el tamaño muestral estuvo dado por la ecuación:

$$\text{N}^{\circ} \text{ Total de Pruebas} = (\text{N}^{\circ} \text{ de Matriz}) (\text{N}^{\circ} \text{ de Réplicas}) + \text{N}^{\circ} \text{ Probetas Control}$$

$$\text{N}^{\circ} \text{ Total de Pruebas} = (9 * 3) + 3 = 30 \text{ Pruebas}$$

Los valores elegidos para la variable independiente se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6: Niveles de la Variable Independiente y dependientes

VARIABLES INDEPENDIENTES	NIVELES DE ESTUDIO
Factor A = tiempo de aplicación de corriente eléctrica	a1: 5 días
	a2: 5 días
	a3: 5 días
Factor B: intensidad de corriente eléctrica a aplicar	b1: 0,5 Miliamperios
	b2: 1 Miliamperios
	b3: 1,5 Miliamperio
	1 amperio
	1.5 amperio
	2 amperio
VARIABLES DEPENDIENTES	
Índice de morbilidad de bacterias	

Dónde:

A: Factor o variable independiente

B: Factor o variable independiente

Factor A: Tiempo de aplicación de corriente eléctrica

Factor B: Intensidad de Corriente (mA/m^2)

Variables de respuesta:

- Índice de morbilidad de bacterias

Tabla 7: Diseño de la matriz experimental

Intensidad de corriente eléctrica D	Tiempo de aplicación de corriente eléctrica (A)		
	a1	a2	a3
b1	a1b1	a2b1	a3b1
b2	a1b2	a2b2	a3b2
b3	a1b3	a2b3	a3b3

e:

Total de pruebas: (N° de la matriz * N° de repeticiones) + probetas control = $9 * 3 = 27 + 3$ probetas control = 30 Probetas

4.2.2. Procedimiento Experimental

El procedimiento experimental se desarrolló siguiendo la secuencia mostrada en la ilustración 12.

A. CORTE DE PROBETAS Y LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE

Las muestras de acero ASTM A-36 se cortaron según las dimensiones dadas. A todas las probetas se les hizo un orificio de 1/8" con broca donde se colocó un hilo de nylon, para luego colocarlas en las cubetas de vidrio.

El área de las muestras se limpió según la norma ISO 8407, la cual aconseja hacer una limpieza química para poder evaluar la corrosión de muestras por pérdida de masa. Este procedimiento permite separar la grasa, suciedad, ocasionados por la corrosión y otros contaminantes de la superficie de la muestra en estudio. Los pasos seguidos, productos químicos y condiciones usadas para la limpieza de la superficie de las probetas son:

- Realizar limpieza con lijas, luego sumergir en ácido clorhídrico diluido con hexametenotetramina y frotar suavemente con un cepillo hasta obtener una superficie brillante para luego enjuagar con agua destilada.
- Sumergir en hidróxido de sodio 1N, por un minuto para controlar la acción del ácido, posteriormente enjuagar con agua destilada y secar. Esta acción se realiza a temperatura ambiente.

B. PESAJE DE LAS PROBETAS

Las muestras fueron pesadas en una balanza analítica (exactitud ± 0.001 g), antes de realizar cada prueba experimental y después de realizada la misma.

C. PREPARACIÓN DEL MEDIO CORROSIVO

Se trabajó con agua dulce destilada de la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional PEDRO RUIZ GALLO DE LAMBAYEQUE la cual fue analizada en el Laboratorio obteniéndose el reporte de análisis siguiente para luego destilarla:

D. ENSAYO DE PROBETAS SIN PROTECCIÓN CATÓDICA

Se utilizaron 3 muestras del material de estudio, acero ASTM A-36, siempre manteniendo el medio corrosivo sin agitación. Se dejan las probetas en estas condiciones durante 10 días. Estas muestras de control sirven para comparar el ensayo de protección catódica.

E. ENSAYO DE PROTECCIÓN CATÓDICA

En este proceso se utilizaron 27 probetas de acero ASTM A-36 divididas en grupos de 3.

Los pasos a seguir para el ensayo de protección catódica son los siguientes:

- Colocar las probetas en agua destilada la cual debe al inicio con caldo de cultivo para enriquecimiento de las bacterias
- Conectar el contra electrodo de Carbón al terminal positivo de la fuente de corriente continua y el terminal negativo a la probeta.

Conecte el electrodo de referencia al polo negativo del voltímetro y el polo positivo a la sonda.

Durante los ensayos se les suministra a las muestras; corrientes suficientes con el propósito de sostener el rango de potenciales de protección. El ensayo duro 10 días calendario, tiempo en el cual se controló que la intensidad de corriente se mantenga constante. Esta prueba permitió determinar, mediante la pérdida de peso del material en estudio, acero ASTM A-36, sus correspondientes velocidades de corrosión y determinar su potencial de protección para cada densidad de corriente aplicada.

F. RETIRO DE LAS MUESTRAS

Las muestras al cumplir el plazo establecido de exposición en el medio, fueron extraídas adecuada y cuidadosamente, siempre teniendo en cuenta la colocación de códigos a cada muestra para luego ser colocadas en contenedores apropiados para su posterior limpieza.

G. LIMPIEZA DE LOS PRODUCTOS DE CORROSIÓN

Las muestras de acero ASTM A-36 se limpiaron según la norma ISO adecuada, de la siguiente manera:

- Se sumergió las muestras en una solución de 500 ml. HCl ($\rho = 1.19 \text{ g/cm}^3$) con 3.5 g de $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$ (hexametilentetramina) y aforado con agua destilada hasta 1000ml.
- Luego se limpió totalmente para ser lavadas con agua destilada.
- Finalmente se introdujeron en una solución de hidróxido de sodio uno normal, por un tiempo de 60 segundos, para controlar la acción del ácido, posteriormente se enjuaga con agua destilada y como última acción secar las muestras de estudio. Este paso se realizó a temperatura ambiente.

H. PESAJE DE LAS PROBETAS

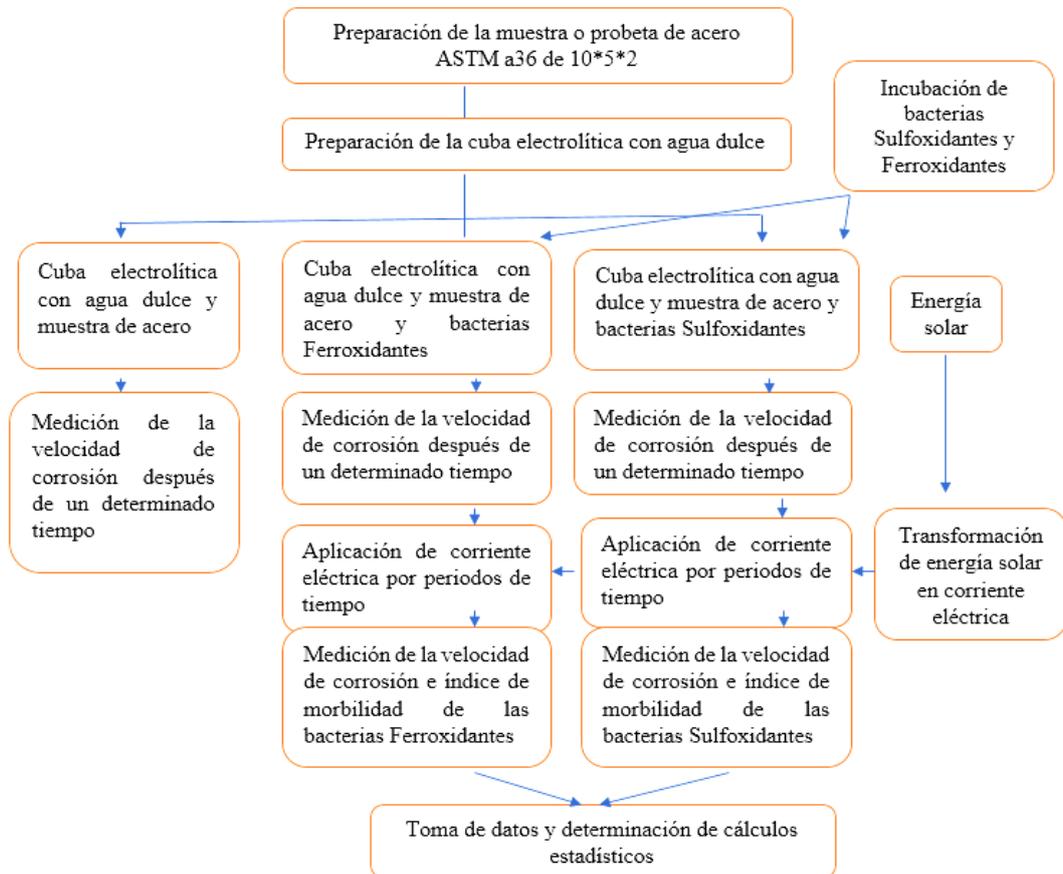
Luego de mover las sustancias producto de la corrosión del área de las muestras, se calculó su peso, utilizando una balanza digital, la cual cuenta con una sensibilidad de 0.0001 g, posteriormente se calculó la pérdida de peso y la velocidad de corrosión.

I. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se analizaron los resultados determinándose el índice de morbilidad de las bacterias en las diferentes cubetas de trabajo y en cada una de las muestras y la influencia de estos sobre el Potencial de Corrosión y sobre la rapidez de corrosión.

Ilustración 3: Procedimiento de toma de datos

Se realizará siguiendo la secuencia mostrada en la figura.



CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Inicio de Pruebas

Inoculación de bacterias por cuba: 25 ml de caldo de cultivo por cuba 120*
10000 bacterias por 25 ml = 12000000 bacterias por cuba (12 millones de bacterias por cuba)

Tabla 8: Tratamiento de intensidad de corriente por cada cuba de muestra

Cubas	Intensidad de corriente
1	0.5 miliamperios
2	1.0 miliamperios
3	1.5 miliamperios
4	0 miliamperios

Tabla 9: Primera prueba: lunes: 10/02/2020 hora 8 am.

Cuba	Bacterias x campo	Bacterias que quedaron vivas	Bacterias que murieron
1 (0.5miliamperios)	220*100000	2200000	11780000
2 (1 miliamperios)	184*100000	1840000	10160000
3 (1.5 miliamperios)	186*100000	1860000	10140000
4 (0 miliamperios)	235*100000	2350000	96500000

Tabla 10: Segunda prueba: martes: 11/02/2020 hora 8 am.

Cuba	Bacterias por campo	Bacterias que quedaron vivas	Bacterias que murieron
1 (0.5 miliamperios)	30 *100000	300000	1900000
2 (1 miliamperios)	27 *100000	270000	1570000
3 (1.5 miliamperios)	30 *100000	300000	1560000
4 (0 miliamperios)	37*100000	370000	1980000

Tabla 11: Tercera prueba: miércoles: 12/02/2020 hora 8 am.

Cuba	Bacterias por campo	Bacterias que quedaron vivas	Bacterias que murieron
1 (0.5 miliamperios)	25*100000	250000	50000
2 (1 miliamperios)	26*100000	260000	10000
3 (1.5 miliamperios)	20*100000	200000	10000
4 (0 miliamperios)	40*100000	400000	Ninguna

Tabla 12: Cuarta prueba: jueves: 13/02/2020 hora 8 am.

Cuba	Bacterias por campo	Bacterias que quedaron vivas	Bacterias que murieron
1 (0.5 miliamperios)	0	0	Todas
2 (1 miliamperios)	6*100000	60000	200000
3 (1.5 miliamperios)	12*100000	120000	80000
4 (0 miliamperios)	40*100000	400000	Ninguna

Tabla 13: Quinta prueba: viernes: 14/02/2020 hora 8 am.

Cuba	Bacterias por campo	Bacterias que quedaron vivas	Bacterias que murieron
1 (0.5 miliamperios)	0	0	Todas
2 (1 miliamperios)	6*100000	60000	Ninguna
3 (1.5 miliamperios)	9*100000	90000	30000
4 (0 miliamperios)	25*100000	250000	150000

Tabla 14: Tratamiento de intensidad de corriente por cada cuba de muestra segunda etapa: Aumentando la intensidad de corriente al máximo permisible

Cubas	Intensidad de corriente
1	1 amperios
2	1.5 Amperios
3	2 amperios
4	0 amperios

Tabla 15: Tratamiento a las bacterias que sobrevivieron: miércoles

Cuba	Bacterias por campo	Bacterias totales	Bacterias que murieron
1 (1 miliamperios)	0	0	Todas
2 (1 miliamperios)	0*100000	0	Todas
3 (2 miliamperios)	0*100000	0	Todas
4 (0 miliamperios)	25*100000	250000	Ninguna

5.2. Velocidades de corrosión y potenciales de muestras de acero astm a-36 sin recubrimiento de corriente electrica

En la tabla 16 se presenta la rapidez de corrosión promedio y el potencial promedio de las probetas de acero ASTM A-36 evaluadas, siendo $36,00\mu\text{m/año}$ y -738 mV (respecto al electrodo de Cu/CuSO_4) respectivamente.

Tabla 16: Velocidades de corrosión y potenciales para las muestras de acero ASTM A-36 sin recubrimiento.

Intensidad corriente (mA / m ²)	Potencial (mV)	Peso perdido (g)	Área (dm ²)	Velocidad de corrosión	
				$\mu\text{m} / \text{año}$	mdd
0	- 738	0.804	1.0381	36,00	77,45



Ilustración 4: Acero ASTM A-36, sin ningún tipo de protección, sumergido en agua dulce.

RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LA ETAPA EXPERIMENTAL

Tabla 17: Potenciales para el acero ASTM A-36

INTENSIDAD DE CORRIENTE (mA/m ²)	POTENCIAL (mV)			POTENCIAL PROMEDIO (mV)
0	-736 P1	-738 P2	-740 P3	-738

P1, P2, P3: Son probetas patrón

Tabla 18: Velocidades de corrosión del Acero ASTM A-36 sin ninguna protección.

Intensidad De corriente (mA/m ²)	Peso perdido Gramos (Peso inicial – peso final)	Área dm ²	Velocidad de Corrosión	
			Mdd	µm/año
0	1.9196	1,0381	123,27	57,31
0	1.9290	1,0381	123,76	57,60
0	1.4200	1,0381	91,19	42,40

Peso perdido promedio: 1.7562

Velocidad de corrosión promedio:

$$V_c = 52,43 \frac{\mu m}{año}$$

$$V_c = 112,74 \text{ mdd}$$

El fenómeno corrosivo presentado, como se visualiza en la figura 04.fue la de una corrosión uniforme y se ha formado incluso herrumbre, identificada como producto de corrosión marrón rojizo.

Luego de retirados los productos de corrosión se pueden apreciar que debajo de los mismos, había grietas o cavidades superficiales (ilustración 05) lo que indica la presencia de algunas zonas de corrosión localizada.



Ilustración 5: Muestra de acero ASTM A-36 expuesta en agua dulce y bacterias después de ser protegida con corriente impresa, aún sin limpiar los productos de corrosión.



Ilustración 6: Muestra de acero ASTM A-36 protegida con corriente impresa, expuesta a bacterias en agua dulce, después de ser sometida a limpieza química.

**CAPÍTULO VI:
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES**

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Se demostró experimentalmente como influye la intensidad de corriente aplicada en las colonias de bacterias que causan corrosión del Acero ASTM A-36 sumergido en agua dulce, confirma lo hipótesis planteada que indica un índice de morbilidad bastante alto
- Se determinó estadísticamente que los tres métodos usados contra la corrosión bacteriana son experimentalmente buenos
- Se obtuvieron valores óptimos de intensidad de corriente catódica aplicada, alcanzando proteger el Acero ASTM A-36 de la corrosión hasta en un 96%; resultados, al evitar zonas de sobreprotección, pueden servir para realizar una extrapolación a condiciones industriales.

6.2. Recomendaciones

- Se recomienda que de los tres métodos usados el primero es el que demostró experimentalmente que es más rápido eliminando las colonias de bacterias.
- Extrapolar a escala industrial los parámetros de protección obtenidos para el Acero ASTM A-36 o equivalente, expuesto a agua, de composición porcentual cercana a la utilizada en esta investigación, calculando el área total expuesta del acero, para obtener así, la corriente impresa (mA) necesaria para llevar la estructura a zonas de inmunidad, controlando el potencial de protección dentro del rango de valores obtenidos, garantizando la protección biocorrosiva.
- Realizar protección catódica con corriente continua protegiendo la superficie del metal con corriente eléctrica y evitando así la biocorrosión.

CAPÍTULO VII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexander, M. (1965). *Most probable number methods for microbial populations. In Methods of soil analysis part 2. Chemical and biological properties.* Soc. Agronomy. Madison.
- Alexander, M. (1977). *Introduction to soil microbiology.* John Wiley & sons.
- Arellano, J., y Cárdenas, D. (1993). *Influencia de la densidad de corriente y el espesor de pintura epóxica, sobre la velocidad de corrosión del acero estructural ASTM A-36 protegido catódicamente con corriente continua, cuando está sumergido en solución del 3.5% de NaCl* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Trujillo.
- Arévalo, C., Del Mar, C., y Cárdenas, D. (2007). *Influencia de la densidad de corriente en el potencial de protección y velocidad de corrosión de la fundición gris SAE G 2500 protegida catódicamente con corriente continua cuando está sumergida en una solución al 3.5 % de cloruro de sodio* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Trujillo.
- Áskeland, D. (1998). *Ciencia e ingeniería de los materiales* (3° ed.). Editorial Internacional Thompson.
- ASTM A – 36 /A – 36M – 05, <http://www.shipplate.com.cn/UploadFile/200931010515.pdf>
- ASTM – G – 31 – 72, Standard practice for laboratory immersion corrosion testing of metals, 2004 Annual Book of ASTM Standards, volumen 03.02 – Wear and Erosion; Metal Corrosion, American Society of Testing and Materials, United States.
- Ávila, J., y Genescá, J. (2007). “Corrosión” [Online], http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/079/htm/sec_3.htm [Consulta]
- Ávila, S. (1996). *Protección Catódica.* Boletín Técnico de Petróleos del Perú.
- Ballesteros, M., Navarrete, M., Sánchez, J., Valdez, B., y Hernández, G. (2000). Corrosión inducida por la bacteria hipertermofila *Thermoproteus neutrophillus* en el acero inoxidable AISI 304 Sensibilizado.

- Ballesteros, M., Navarrete, M., Torres, M., Hernández, G. y Sánchez, J. (1995). Bacterial corrosion at high temperature on 304 and 316 stainless steels treatment by head. IV International conference on advanced materials.
- Bao, M., Liu, Y., Wang, X., Yang, L., Li, S., Ren, J., Qin, G., & Zhang, E. (2018). Optimization of mechanical properties, biocorrosion properties and antibacterial properties of wrought Ti-3Cu alloy by heat treatment. *Bioactive Materials*, 3(1), 28–38. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5935767/>
- Belkin, S., Wirsen, C. O., & Jannasch, H. W. (1986). A new sulfur-reducing, extremely thermophilic eubacterium from a submarine thermal vent. *Applied and Environmental Microbiology*, 51(6), 1180–1185. <https://doi.org/10.1128/aem.51.6.1180-1185.1986>
- Burgos J. (1980). *Curso Básico de Corrosión*. Centro Nacional de Capacitación Petrolera.
- Cárdenas, D. (1998). *Corrosión y Protección de Metales* (2º edición). UNT-Facultad de Ingeniería.
- Cayotopa, L., Salirrosas, M., y Cárdenas, D. (2006). *Influencia de la densidad de corriente aplicada sobre la velocidad de corrosión del acero ASTM A-36, latón 70/30 y aluminio 1100, protegidos catódicamente con corriente continua, sumergidos en una solución al 3.5% de cloruro de sodio*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Trujillo. <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/079/htm>
- Chelliah, N., Padaikathan, P., & Kumar, R. (2019). Evaluation of electrochemical impedance and biocorrosion characteristics of as-cast and T4 heat treated AZ91 Mg-alloys in ringer's solution. *Journal of Magnesium and Alloys* 7(1), 134-143. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213956719300076>
- Chesnokova, M., Shalaj, V., Kraus, J., & Mironov, A. (2015). Assessment of soil biocorrosion severeness on the pipeline locations. *Procedia Engineering* 113, 57-61. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815015647>
- Chesnokova, M., Shalaj, V., Kraus, Y., Cherkashina, N., & Mironov, N. (2016). Analysis of corrosion defects on oil pipeline surface using scanning electron microscopy and

- soil thionic and sulfate-reducing bacteria quantification. *Procedia Engineering* 152, 247-250. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816321105>
- Clark, I., White, K., & Bursle, A. (1985). The Use of corrosion resistant steel in sugar milling". *Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologists*. 263-259. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201301456312>
- Crespo, M. (enero de 2007). *Protección Catódica*. <http://members.fortunecity.es/caheal/catodica.html>.
- Corporación Aceros Arequipa S.A. (enero de 2007). *Productos - Planchas Delgadas LAC*. <http://www.acerosarequipa.com/planchasdelac.asp>
- Cuzcazo, T. (1993). *Sistemas de Protección Anticorrosiva Para Líneas Submarinas*. V Congreso Nacional de Corrosión.
- Doris, P. (1962). *Corrosao em Intercambiadores de Calor*. Corrosao.
- Delaunois, F., Tosar, F., & Vitry, V. (2014). Corrosion behaviour and biocorrosion of galvanized steel water distribution systems. *Bioelectrochemistry*, 97, 110-119. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2014.01.003>
- Del Valle A., Pérez T., y Maerínez, M. (2001). El fenómeno de la corrosión en estructuras de concreto reforzado". *Instituto Mexicano de Transporte*, 182, 1-88. <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt182.pdf>
- Durmoo, S., Richard, C., Beranger, G., & Moutia, Y. (2008). Biocorrosion of stainless-steel grade 304L (SS304L) in sugar cane juice. *Electrochimica Acta*, 54(1), 74-79. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013468608007676>
- Flores, J. (enero de 2007). *Corrosión Electroquímica*. http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/079/htm/sec_5.htm.
- Franklin, M., & White, D. (1991). Biocorrosion. *Current Opinion in Biotechnology*, 2(3), 450-456. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958166905801557>

- García, O. (2001). *Fundamentos de Corrosión y Protección Catódica*. Universidad de Piura.
<https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/2553/TORRES%20JIM%C3%89NEZ%2C%20Jonathan%20Mart%C3%ADn%2C%20ZAPATA%20MAS%C3%8DAS%2C%20Christian%20Anderson.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gaylarde, C. (1990). Advances in detection of microbiologically induced corrosion. *International Biodeterioration* 26(1), 11-22.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0265303690900323>
- González, E. A., Leiva, N., Vejar, N., Sancy, M., Gulppi, M., Azócar, M. I., Gomez, G., Tamayo, L., Zhou, X., Thompson, G. E., & Páez, M. A. (2019). Sol-gel coatings doped with encapsulated silver nanoparticles: Inhibition of biocorrosion on 2024-T3 aluminum alloy promoted by *Pseudomonas aeruginosa*. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(2), 1809–1818.
<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2018.12.011>
- Gonzales, J. (1989). *Control de la Corrosión: Estudio y Medida por Técnicas Electroquímicas*. Editorial Grafipren.
- Hernández, J. (2006). *Protección catódica en tuberías enterradas en el mar* [Tesis de pregrado]. Universidad de las Américas Puebla, México.
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mgd/hernandez_m_js/
- Jiang, P., Wang, Y. & Peng, Z. (2018). The application potential of solar energy sources in Shanghai's existing workers' village. *Energy Procedia*, 152, 1085-1090.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610218306714>
- Karthikeyan, P., Sathishkumar, S., Pandian, K., Mitu, L., & Rajavel, R. (2018). Novel copper doped halloysite nano tube/silver-poly (pyrrole-co-3, 4 ethylenedioxythiophene) dual layer coatings on low nickel stainless steel for anti-corrosion applications. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, 3(1), 59-67. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468217917301971>
- Kim, J., & Kim, Y. (2001). Cathodic protection criteria of thermally insulated pipeline buried in soil". *Corrosion Science*, 43(11), 2011-2021.

https://www.researchgate.net/publication/256689812_Cathodic_protection_criteria_of_thermally_insulated_pipeline_buried_in_soil

- Libert, M., Kerber, M., Esnault, L., & Bildstein, O. (2013). Are underground clay disposal conditions favorable for microbial activity and biocorrosion?. *Procedia Earth and Planetary Science*, 7, 73-76.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878522013002622>
- Li, Y., Xu, D., Chen, C., Li, X., Jia, R., Zhang, D., Wolfgang, A., Wang, F., & Gu, T. (2018). Anaerobic microbiologically influenced corrosion mechanisms interpreted using bioenergetics and bioelectrochemistry: a review. *Journal of Materials Science & Technology*, 34(10), 1713-1718.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S100503021830046X>
- Magnin, J., Garden, J., Ozil, P., Pathe, C., Picq, G., Poignet, C., Schoeffert, S., Vennereau, P., & Vincent, D. (1994). Preparation of porous materials by bacterially enhanced corrosion of Fe in iron-titanium hot-pressed plates. *Materials Science and Engineering: A*, 189(1), 165-172.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/092150939490412X>
- Montgomery, D. (1991). *Diseño y análisis de experimentos*. Editorial Iberoamérica.
- Morcillo, M., y Feliu, S. (1984). *Teoría y práctica de la lucha contra la corrosión*. Editorial CSIC.
- Otero, E. (1997). *Corrosión y degradación de materiales*. Editorial Síntesis S. A.
- Otero, E. (1997). *Corrosión y Degradación de Materiales* (1º ed.). Editorial Síntesis.
- Pantoja, C., y Cárdenas, D. (2001). *Influencia del tipo de ánodo sacrificial y masa sobre la velocidad de corrosión del acero estructural ASTM A-36 sumergido en una solución al 3.5% NaCl agitada* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Trujillo.
- Peng, C., & Park, J. (1994). Electrochemical mechanisms of corrosion influenced by sulfate-reducing bacteria in aquatic systems. *Water Research*, 28(8), 1681-1692.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0043135494902399>

- Pintado, L., & Montero, F. (1992). Underground biodeterioration of medium tension electric cables. *International Biodeterioration & Biodegradation* 29(3), 357-365.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/096483059290052P>
- Pourbaix, M. (1974). Applications of electrochemistry in corrosion science and in practice. *Corrosion Science*, 14(1), 25-82.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0010938X74800065?via%3Dihub>
- Procainsa, S.A. (octubre de 2006). *Protección catódica*.
<http://www.procainsa.com/informes/informe-pc.html>.
- Rasheed, P., Jabbar, K., Rasool, K., Pandey, R., Sliem, M., Helal, M. & Mahmoud, K. (2019). Controlling the biocorrosion of sulfate reducing bacteria (SRB) on carbon steel using ZnO/chitosan nanocomposite as an eco-friendly biocide. *Corrosion Science*, 148, 397-406.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010938X1831268X>
- Sanders, J. (1988). Control of biocorrosion using laboratory and field assessments. *International Biodeterioration*, 24(4), 239-246.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0265303688900073>
- Schweitzer, P. (2007). *Fundamentals of corrosion: atmospheric and corrosion of metals* (2° ed.). <https://es.scribd.com/document/151551065/Corrosion-Engineering-Handbook-Fundamentals-of-Metallic-Corrosion-2nd-Ed-P-Schweitzer-CRC>
- Smith, W. (1998). *Fundamento de la ciencia e ingeniería de materiales* (3° ed.). Editorial Mc Graw Hill.
- Snoeyink, V., y Jenkins, D. (1990). *Química del agua*. Editorial Limusa S.A.
- Sorena. (noviembre de 2006). *Protección catódica*.
[https://www.sorena.cl/es/principal%20\[Consulta\]%20noviembre%202006](https://www.sorena.cl/es/principal%20[Consulta]%20noviembre%202006)
- Uhlig, H. (1979). *Corrosión y control de la corrosión*. Editorial Urmo S.A.
- Ulick, R. (1987). *Corrosiones metálicas*. Editorial Reverte S.A.

- Venzlaff, H., Enning, D., Srinivasan, J., Mayrhofer, K., Hassel, A., Widdel, F., & Stratmann, M. (2013). Accelerated cathodic reaction in microbial corrosion of iron due to direct electron uptake by sulfate-reducing bacteria. *Corrosion Science*, *66*, 88-96. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010938X12004362>
- Villanueva P., y Ibáñez, F. (2000). *Determinación de la contaminación acuática de los pozos de agua subterránea que abastecen a la provincia de Trujillo* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Trujillo. https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9171/QuispeQuiroz_M%20-%20SanchezSandoval_E.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- West, J. (1986). *Corrosión y oxidación: fundamentos* (1° ed.). Editorial Limusa S.A.
- Ziadi, I., Akrou, H., Hassairi, H., El-Bassi, L., & Bousselmi, L. (2019). Investigating the biocorrosion mechanism of 304L stainless steel in raw and treated urban wastewaters. *Engineering Failure Analysis*, *101*, 342-356. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350630718310665>

CAPÍTULO VIII:
ANEXOS

CAPÍTULO VIII: ANEXOS

8.1. Procesamiento de datos para cálculos de la velocidad de corrosión y probetas de estudio

8.1.1. Cálculos de la velocidad de corrosión

Dimensiones de la probeta

- Ancho: 50 mm
- Largo: 100 mm
- Espesor: 1.27 mm

Área de la probeta

$$Area = [2(50 \times 100) + 2(1.27 \times 100) + 2(1.27 \times 50)] \text{ mm}^2$$

$$Área = 10381 \text{ mm}^2$$

$$Área = 103.81 \text{ cm}^2$$

$$Área = 1.0381 \text{ dm}^2$$

8.1.2. Cálculos de la rapidez de corrosión sin protección catódica

- Pérdida de peso = 1,9196 g = 1919,6 mg

- Tiempo de inmersión en agua destilada con bacterias = 15 días

$$V_c = \frac{1.9196 \text{ g}}{15 \text{ días}} * \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} * \frac{1}{103.81 \text{ cm}^2} * \frac{1 \text{ cm}^3}{7.85 \text{ g}} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} * \frac{1 \mu\text{m}}{10^{-6} \text{ m}}$$

$$V_c = 57,31 \frac{\mu\text{m}}{\text{año}}$$

Para la obtención en mdd, se procedió de la siguiente manera:

$$V_c = \frac{1,9196mg}{1.0381dm^2 * 15días}$$

$$V_c = 123,27 \text{ mdd}$$

8.1.3. Cálculos de la rapidez de corrosión con protección catódica

- Intensidad de corriente = 0.5 mA/m²
- Pérdida de peso = 0.517 g = 517 mg
- Tiempo de inmersión en agua en agua dulce y bacterias = 5 días.

Para la obtención en $\mu\text{m}/\text{año}$, se procedió de la siguiente manera

$$V_c = \frac{0.517g}{15días} * \frac{365días}{1año} * \frac{1}{103,81cm^2} * \frac{1cm^3}{7.85g} * \frac{1m}{100cm} * \frac{1\mu m}{10^{-6}m}$$

$$V_c = 15,43 \frac{\mu m}{año}$$

Para la obtención en mdd, se procedió de la siguiente manera:

$$V_c = \frac{517mg}{1,0381dm^2 * 15días}$$

$$V_c = 33,20 \text{ mdd (miligramos por decímetro cuadrado por día)}$$

Para los cálculos de las velocidades de corrosión de las intensidades de corriente eléctrica siguientes se utilizó el mismo procedimiento.

Tabla 19: Velocidades de corrosión de probetas de Acero ASTM A-36 protegidas catódicamente por corriente impresa a diferentes intensidades de corriente aplicada, después de estar expuestas a biocorrosión bacteriana.

INTENSIDAD DE CORRIENTE (mA/M²)	PESO INICIAL (PROBETA)	PESO FINAL (PROBETA)	PESO PERDIDO	AREA PROTEGIDA M²	VELOCIDAD DE CORROSIÓN μm/año	VELOCIDAD DE CORROSIÓN mdd
0,5	118.74	118.223	0.5170	0.0381	15,43	33,20
0,5	118.54	117.9467	0.5933	0.0381	17,41	38,48
0,5	118.2	117.9355	0.2645	0.0381	7,89	16,98
0,5	119.71	119.241	0.4690	0.0381	14,00	30,11
0,5	117.7	116.9897	0.7103	0.0381	21,20	45,61
0,5	118.6	118.3477	0.2523	0.0381	7,53	16,20
0,5	118.5	117.8738	0.6262	0.0381	18,69	40,21
0,5	118.32	117.85	0.4700	0.0381	14,03	30,18
0,5	118.76	118.2505	0.5095	0.0381	15,21	32,72
1	116.55	116.0242	0.5258	0.0381	15,70	33,76
1	119.57	119.4024	0.1676	0.0381	5,00	10,76
1	119.89	119.7184	0.1716	0.0381	5,25	11,02
1	118.46	117.6038	0.8562	0.0381	25,56	54,98
1	114.51	113.9416	0.5684	0.0381	16,97	36,50
1	118.59	118.3046	0.2854	0.0381	8,52	18,32
1	117.21	116.5566	0.6534	0.0381	19,51	41,96
1	117.57	116.7512	0.8188	0.0381	24,44	52,58
1	119.71	119.0988	0.6112	0.0381	18,25	39,25
1,5	120.7	120.3712	0.3288	0.0381	9,81	21,11
1,5	118.35	117.7857	0.5643	0.0381	16,85	36,23
1,5	118.04	117.5617	0.4783	0.0381	14,28	30,71
1,5	118.56	117.2402	1.3198	0.0381	39,40	84,75
1,5	117.7	117.2946	0.4054	0.0381	12,10	23,03
1,5	119.02	117.6779	1.3421	0.0381	40,07	86,18
1,5	119.258	118.7535	0.5045	0.0381	15,06	32,39
1,5	119.09	118.3888	0.7012	0.0381	20,93	45,03
1,5	120.88	120.2792	0.6008	0.0381	17,94	38,58

8.2. Procesamiento estadístico de datos

Como los datos son pequeños las muestras no se ajustan a una distribución normal, entonces se aplica la prueba no paramétrica de KRUSKAL-WALLIS que es equivalente al ANOVA.

Tabla 20: Resultados SPSS

RANGOS			
	TRATA	N	Rango promedio
MORTALIDAD	1	5	8,40
	2	5	7,80
	3	5	7,80
	Total	15	

ESTADÍSTICOS DE PRUEBA^{a, b}	
	MORTALIDAD
H de Kruskal-Wallis	0,061
gl	2
Sig. asintótica	0,970

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: TRATA

El valor de 0.97 indica que se acepta la hipótesis que no existe diferencia estadística respecto a la mortalidad de las bacterias debido a los tres tratamientos son buenos en la aplicación de la detención de la corrosión bacteriana, pero en el aspecto microbiológico el primer método con 0,1 miliamperios es el más recomendado.

8.3. FICHA TÉCNICA DEL ACERO ASTM A-36



Designation: A 36/A 36M – 00a

Standard Specification for Carbon Structural Steel¹

This standard is issued under the fixed designation A 36/A 36M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This specification² covers carbon steel shapes, plates, and bars of structural quality for use in riveted, bolted, or welded construction of bridges and buildings, and for general structural purposes.

1.2 Supplementary requirements are provided for use where additional testing or additional restrictions are required by the purchaser. Such requirements apply only when specified in the purchase order.

1.3 When the steel is to be welded, a welding procedure suitable for the grade of steel and intended use or service is to be utilized. See Appendix X3 of Specification A 6/A 6M for information on weldability.

1.4 For Group 4 and 5 wide flange shapes for use in tension, it is recommended that the purchaser consider specifying supplementary requirements, such as fine austenitic grain size and Charpy V-notch impact testing.

1.5 The values stated in either inch-pound units or SI units are to be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system is to be used independently of the other, without combining values in any way.

1.6 The text of this specification contains notes or footnotes, or both, that provide explanatory material. Such notes and footnotes, excluding those in tables and figures, do not contain any mandatory requirements.

1.7 For plates cut from coiled product, the additional requirements, including additional testing requirements and the reporting of additional test results, of A 6/A 6M apply.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

A 6/A 6M Specification for General Requirements for Rolled Structural Steel Bars, Plates, Shapes, and Sheet Piling³

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A01 on Steel, Stainless Steel, and Related Alloys, and is the direct responsibility of Subcommittee A01.02 on Structural Steel for Bridges, Buildings, Rolling Stock, and Ships.

Current edition approved Sept 10, 2000. Published November 2000. Originally published as A 36 – 60 T. Last previous edition A 36/A 36M – 00.

² For ASME Boiler and Pressure Vessel Code Applications, see related Specifications SA-36 in Section II of that Code.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.04.

A 27/A 27M Specification for Steel Castings, Carbon, for General Application⁴

A 307 Specification for Carbon Steel Bolts and Studs, 60 000 psi Tensile Strength⁵

A 325 Specification for High-Strength Bolts for Structural Steel Joints⁵

A 325M Specification for High-Strength Bolts for Structural Steel Joints [Metric]⁵

A 500 Specification for Cold-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing in Rounds and Shapes⁶

A 501 Specification for Hot-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing⁶

A 502 Specification for Steel Structural Rivets⁵

A 563 Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts⁵

A 563M Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts [Metric]⁵

A 570/A 570M Specification for Steel, Sheet and Strip, Carbon, Hot-Rolled, Structural Quality⁷

A 668/A 668M Specification for Steel Forgings, Carbon and Alloy, for General Industrial Use⁸

F 568M Specification for Carbon and Alloy Steel Externally Threaded Metric Fasteners⁵

3. Appurtenant Materials

3.1 When components of a steel structure are identified with this ASTM designation but the product form is not listed in the scope of this specification, the material shall conform to one of the standards listed in Table 1 unless otherwise specified by the purchaser.

4. General Requirements for Delivery

4.1 Material furnished under this specification shall conform to the requirements of the current edition of Specification A 6/A 6M, for the ordered material, unless a conflict exists in which case this specification shall prevail.

4.1.1 Coiled product is excluded from qualification to this specification until decoiled, levelled, and cut to length. Plates produced from coil means plates that have been cut to individual lengths from a coiled product and are furnished

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.02.

⁵ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 15.08.

⁶ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.01.

⁷ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.03.

⁸ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.05.

 A 36/A 36M

TABLE 1 Appurtenant Material Specifications

NOTE 1—The specifier should be satisfied of the suitability of these materials for the intended application. Chemical composition and/or mechanical properties may be different than specified in A 36/A 36M.

Material	ASTM Designation
Steel rivets	A 502, Grade 1
Bolts	A 307, Grade A or F 568M, Class 4.6
High-strength bolts	A 325 or A 325M
Steel nuts	A 563 or A 563M
Cast steel	A 27/A 27M, Grade 65–35 [450–240]
Forgings (carbon steel)	A 668, Class D
Hot-rolled sheets and strip	A 570/A 570M, Grade 36
Cold-formed tubing	A 500, Grade B
Hot-formed tubing	A 501
Anchor bolts	F 1554

without heat treatment. The processor decoils, levels, cuts to length, and marks the product. The processor is responsible for performing and certifying all tests, examinations, repairs, inspections or operations not intended to affect the properties of the material. For plates produced from coils, two test results shall be reported for each qualifying coil. See Note 1.

NOTE 1—Additional requirements regarding plate from coil are described in Specification A 6/A 6M.

5. Bearing Plates

5.1 Unless otherwise specified, plates used as bearing plates for bridges shall be subjected to mechanical tests and shall conform to the tensile requirements of Section 8.

5.2 Unless otherwise specified, mechanical tests shall not be required for plates over 1 1/2 in. [40 mm] in thickness used as bearing plates in structures other than bridges, subject to the requirement that they shall contain 0.20 to 0.33 % carbon by heat analysis, that the chemical composition shall conform to the requirements of Table 2 in phosphorus and sulfur content, and that a sufficient discard shall be made to secure sound plates.

6. Materials and Manufacture

6.1 The steel for plates and bars over 1/2 in. [12.5 mm] in thickness and shapes other than Group 1 shall be semi-killed or killed.

7. Chemical Composition

7.1 The heat analysis shall conform to the requirements prescribed in Table 2, except as specified in 5.2.

7.2 The steel shall conform on product analysis to the requirements prescribed in Table 2, subject to the product analysis tolerances in Specification A 6/A 6M.

8. Tension Test

8.1 The material as represented by the test specimen, except as specified in 5.2 and 8.2, shall conform to the requirements as to the tensile properties prescribed in Table 3.

8.2 Shapes less than 1 in.² [645 mm²] in cross section and bars, other than flats, less than 1/2 in. [12.5 mm] in thickness or diameter need not be subjected to tension tests by the manufacturer, provided that the chemical composition used is appropriate for obtaining the tensile properties in Table 3.

TABLE 2 Chemical Requirements

NOTE 1—Where “...” appears in this table, there is no requirement. The heat analysis for manganese shall be determined and reported as described in the heat analysis section of Specification A 6/A 6M.

Product	Shapes ^a	Plates ^b					Bars			
		To 3/4 [20], Incl	Over 3/4 to 1 1/2 [20 to 40], Incl	Over 1 1/2 to 2 1/2 [40 to 65], Incl	Over 2 1/2 to 4 [65 to 100], Incl	Over 4 [100]	To 3/4 [20], Incl	Over 3/4 to 1 1/2 [20 to 40], Incl	Over 1 1/2 to 4 [100], Incl	Over 4 [100]
Thickness, in. [mm]	All									
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganese, %	0.80–1.20	0.80–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20	...	0.60–0.90	0.60–0.90	0.60–0.90
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.40 max
Copper, min, % when copper steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

^a Manganese content of 0.85–1.35 % and silicon content of 0.15–0.40 % is required for shapes over 426 lb/ft³ [634 kg/m³].

^b For each reduction of 0.01 percentage point below the specified carbon maximum, an increase of 0.06 percentage point manganese above the specified maximum will be permitted, up to the maximum of 1.35 %.

 A 36/A 36M
TABLE 3 Tensile Requirements^A

Plates, Shapes, ^B and Bars:	
Tensile strength, ksi [MPa]	58–80 [400–550]
Yield point, min, ksi [MPa]	36 [250] ^C
Plates and Bars ^{D,E} :	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	23
Shapes:	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21 ^F

^A See the Orientation subsection in the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

^B For wide flange shapes over 426 lb/ft [634 kg/m], the 80 ksi [550 MPa] maximum tensile strength does not apply and a minimum elongation in 2 in. [50 mm] of 19 % applies.

^C Yield point 32 ksi [220 MPa] for plates over 8 in. [200 mm] in thickness.

^D Elongation not required to be determined for floor plate.

^E For plates wider than 24 in. [600 mm], the elongation requirement is reduced two percentage points. See the Elongation Requirement Adjustments subsection under the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

9. Keywords

9.1 bars; bolted construction; bridges; buildings; carbon; plates; riveted construction; shapes; steel; structural steel; welded construction

SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS

These requirements shall not apply unless specified in the order.

Standardized supplementary requirements for use at the option of the purchaser are listed in Specification A 6/A 6M. Those that are considered suitable for use with this specification are listed by title:

S5. Charpy V-Notch Impact Test.

In addition, the following optional supplementary requirement is also suitable for use with this specification:

S97. Limitation on Rimmed or Capped Steel

S97.1 The steel shall be other than rimmed or capped.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

8.4. Norma ISO 8407

PROCEDIMIENTO PARA LA ELIMINACIÓN DE LOS PRODUCTOS DE CORROSIÓN DE PROBETAS DE ENSAYO

8.4.1. Alcance y Campo de Aplicación

Las normas internacionales especifican los procedimientos adecuados para eliminar productos producidos por la corrosión de metales y algunas aleaciones, los cuales están diseñados para la remoción de productos corrosivos los cuales consideran algunos efectos de sustrato.

8.4.2. Procedimientos

- a. Existen tres generales: químico, electrolítico y mecánico.
- b. El procedimiento ideal depende de cada metal a trabajar durante algún proceso de investigación.
- c. Los procedimientos de limpieza deben repetirse tantas veces sea necesario para poder obtener un producto totalmente libre de extractos corrosivos que limiten la investigación.

8.4.3. Reporte del Ensayo

El Informe de resultados incluirá todos los parámetros internacionales que indica la ley con referencia a la manera de limpiar y tratar los productos de carácter corrosivo ya sea teniendo en cuenta la forma de limpiar ya sea de tipo químico o mecánico siempre se tomará en cuenta las normas internacionales:

8.5. Fotografías

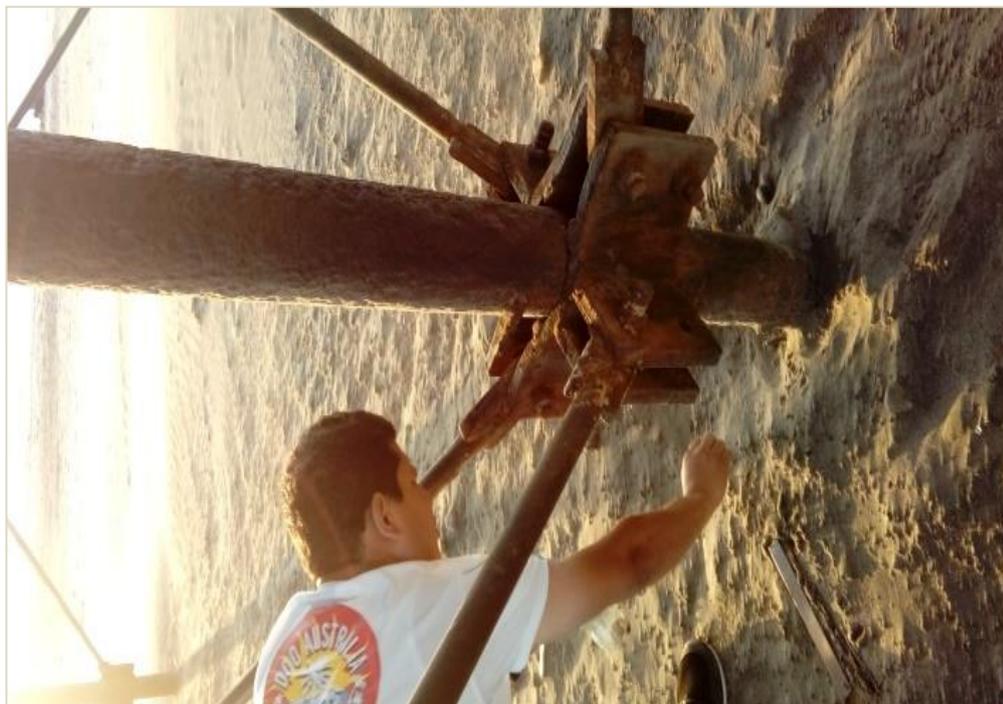


Ilustración 7: Toma de muestras de bacterias



Ilustración 8: Toma de muestras de bacterias

Limitador de corriente para fuentes de voltaje utilizando el LM317

Circuito limitador de corriente

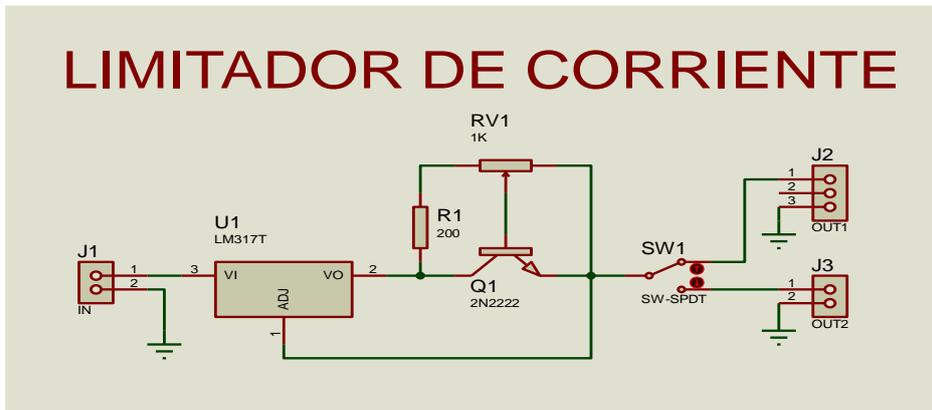


Ilustración 9: Diseño en Proteus



Ilustración 10: Implementación del circuito

Funcionamiento del limitador de corriente para fuente de voltaje

Circuido mostrado realiza las variaciones de voltaje

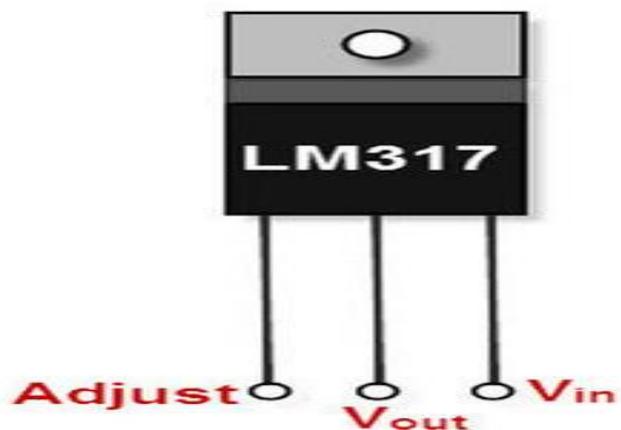


Ilustración 11: Distribución de pines del regulador de voltaje variable LM317

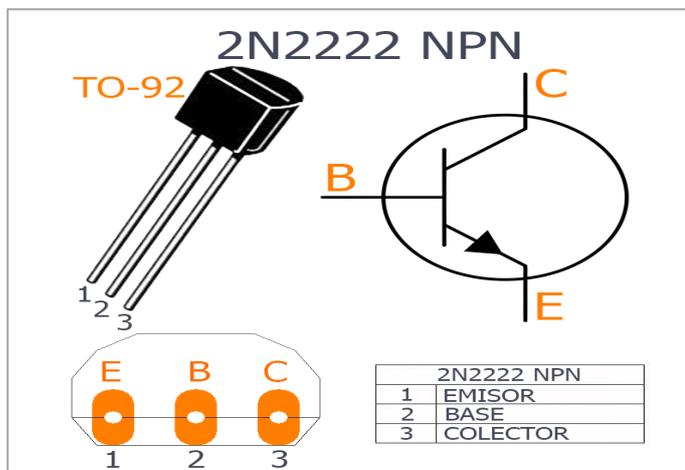


Ilustración 12: Distribución de pines y encapsulado del transistor NPN 2N2222

Ilustración 13: Convertidor Voltaje DC-DC Step-Up-Down 1A LM2577S + LM2596S

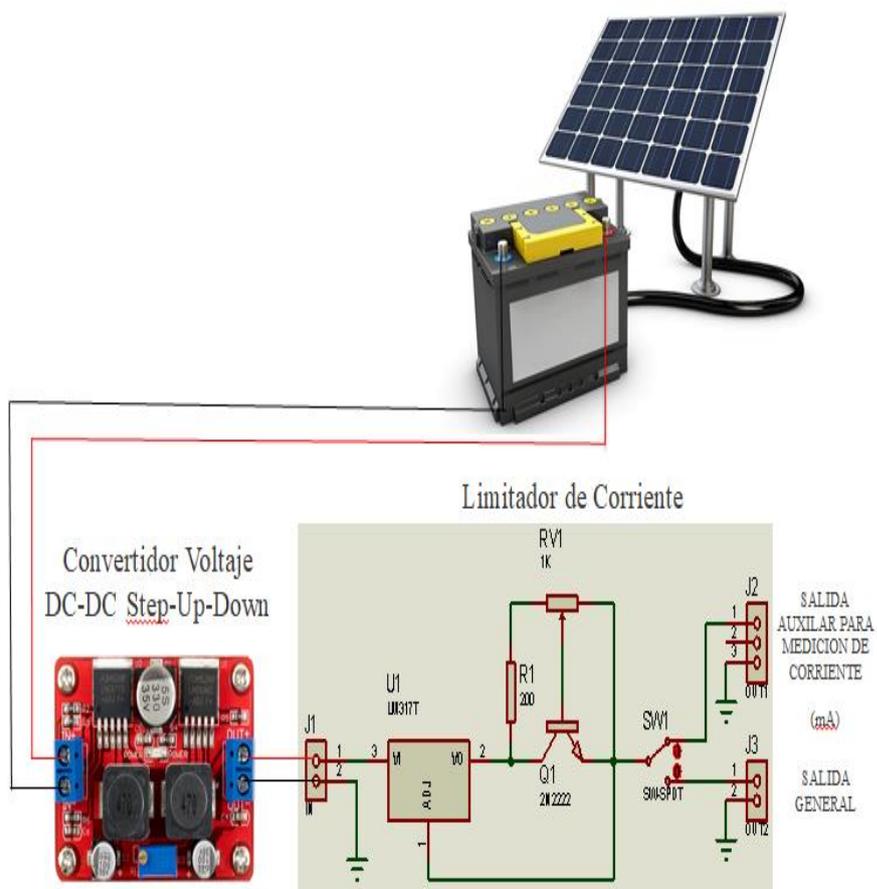


Ilustración 14: Balanza electrónica digital METTLER TOLEDO.



Ilustración 15: Plancha de acero ASTM- A36

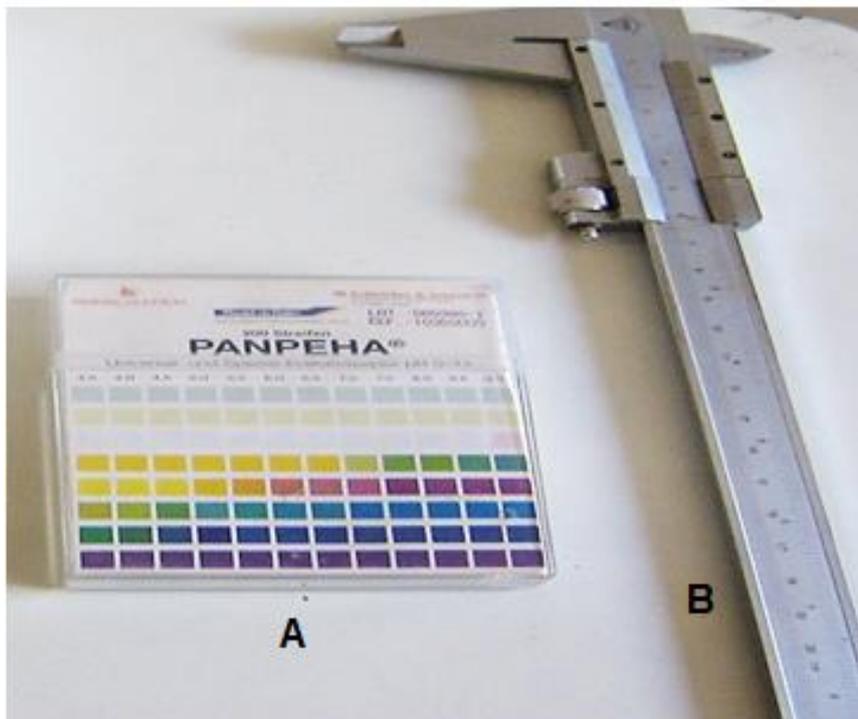


Ilustración 16: A) Papel pH metro B) Vernier

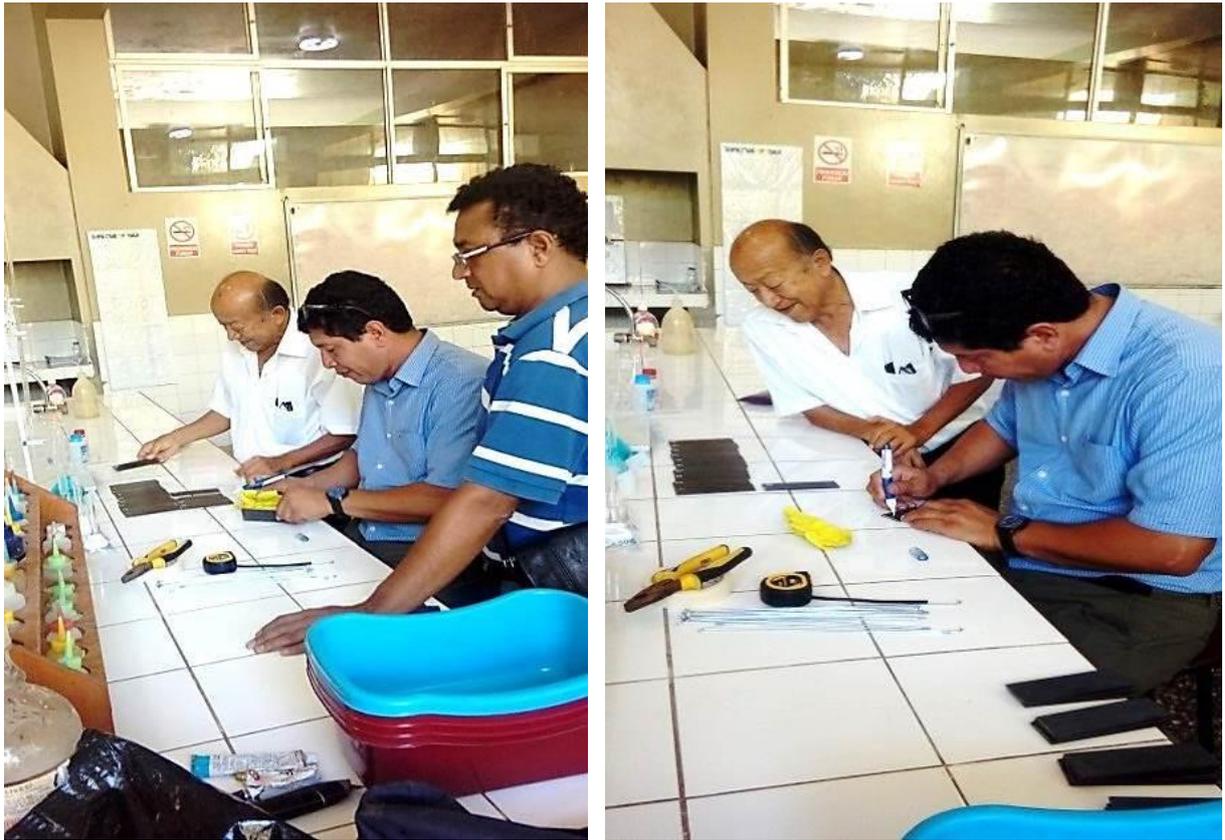


Ilustración 17: Probetas muestrales asesorados por el Dr. Wilton Rojas Montoya



Ilustración 18: Probetas muestrales



Ilustración 19: Datos técnicos del acumulador de corriente eléctrica y el panel solar

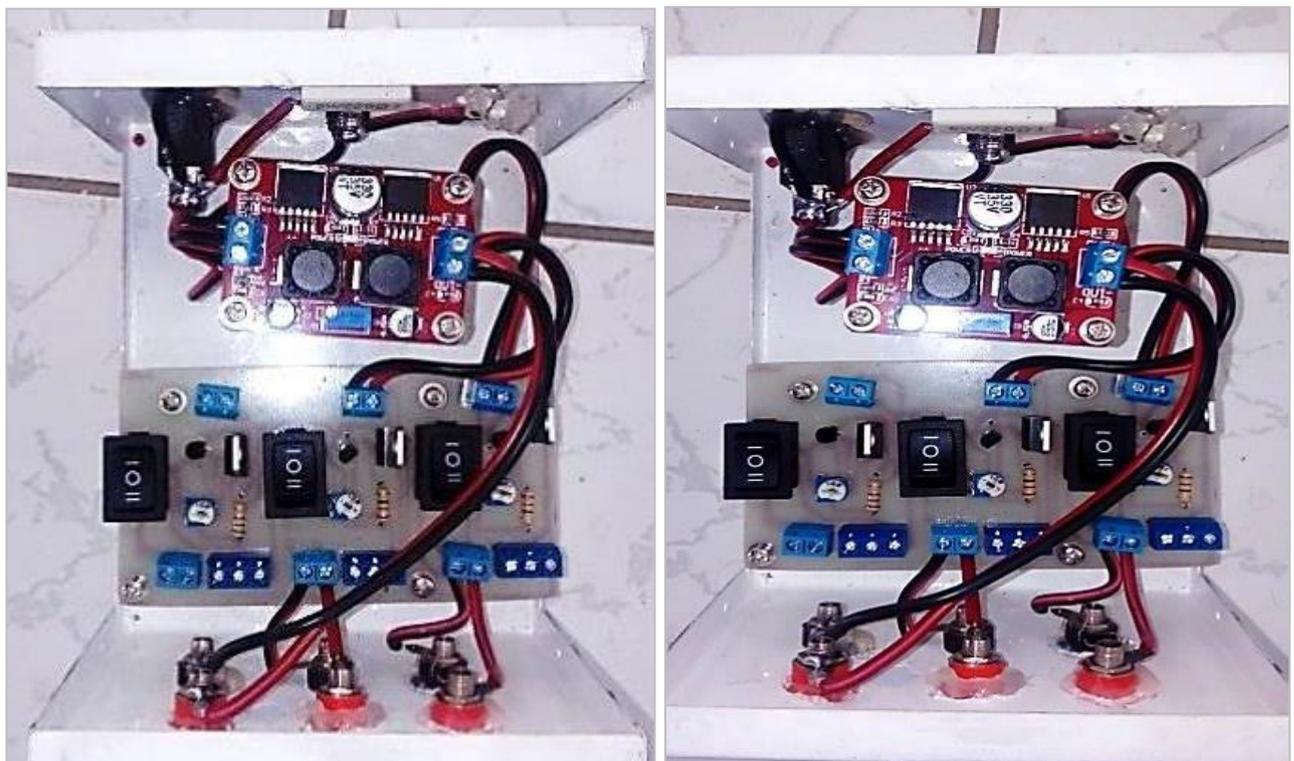


Ilustración 20: Sistema de conversión de corriente

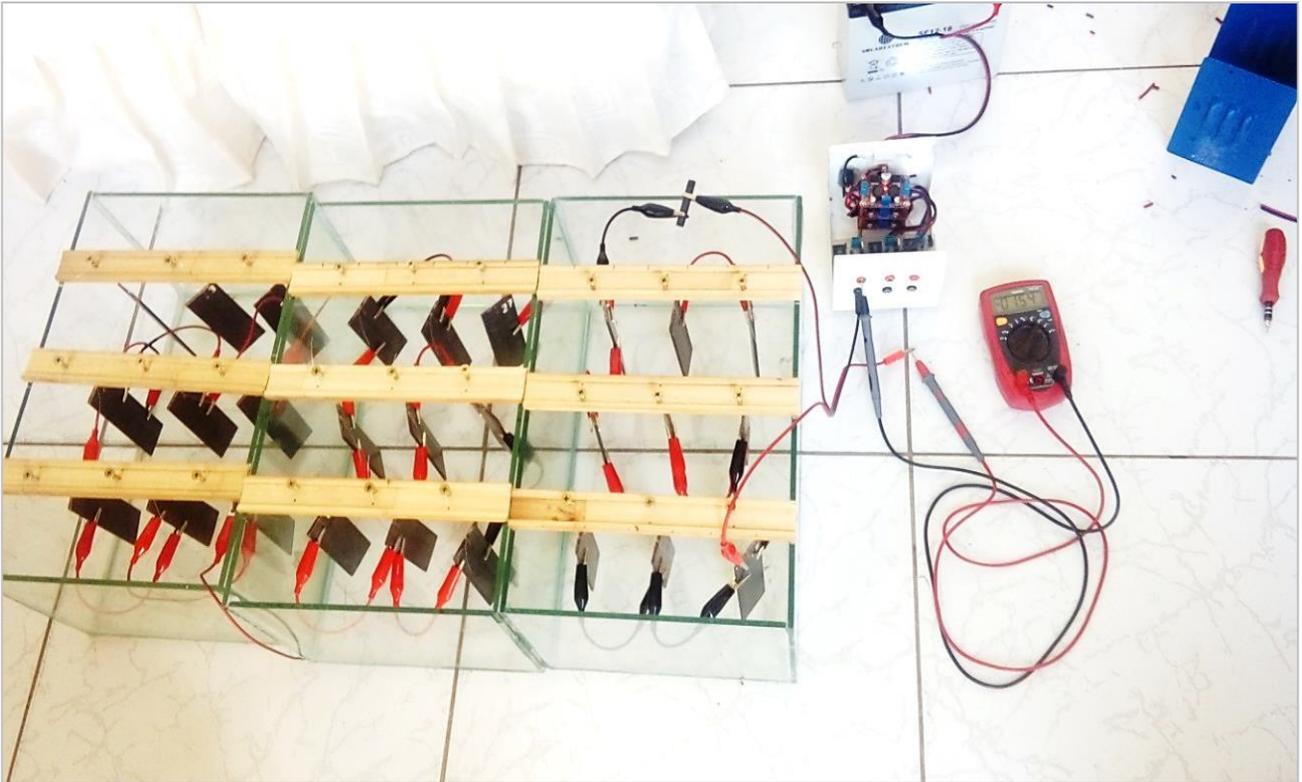


Ilustración 21: Equipo diseñado para el proceso experimental de tratamiento de biocorrosión



Ilustración 23: Adición de agua destilada para el desarrollo de bacterias y el medio corrosivo para inicio de pruebas

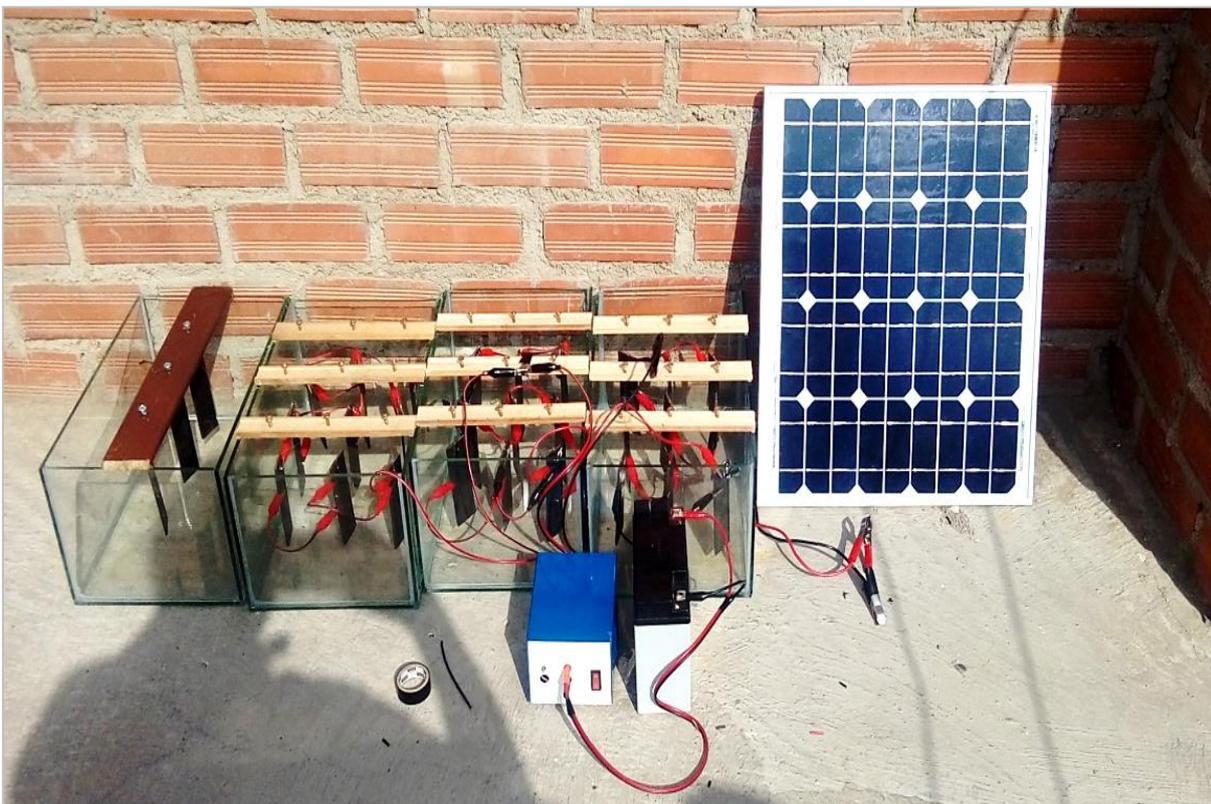


Ilustración 22: Equipo para el proceso experimental de tratamiento de biocorrosión

Ilustración 24: Técnicas de preparación de caldo de cultivo de bacterias

Aislamiento de <i>Thiobacillus ferroxidans</i>		
Fase I Preparación del medio 9K líquido, titular mineral e incubar		
Fase II Preparación del medio 9K sólido		
Preparación para el medio líquido 9K (500 ml)		
(NH ₄) ₂ SO ₄	3.00 g/L	para 500 ml → 1.5 gr
Mg SO ₄ . 7H ₂ O.....	0.5 g/L	para 500 ml → 0.25 gr
K ₂ HPO ₄	0.5 g/L	para 500 ml → 0.25 gr
FeSO ₄ . 7 H ₂ O	7.50 g/L	para 500 ml → 3.75 gr
H ₂ O Destilada.....	1 L	
pH final: 2		
bajar con H ₂ SO ₄ (10N)		
No es necesario esterilizar		
Introducir la muestra (calcopirita o pirita) en el medio líquido y dejar actuar día interdiario removiendo hasta que aparezcan un color anaranjado en el medio, evidencia la presencia de la bacteria, luego preparar el medio sólido		
Preparación del medio sólido 9K (150ml)		
Solución A		
(NH ₄) ₂ SO ₄	0.5 gr	para 75 ml → 0.075 gr
Mg SO ₄ . 7H ₂ O.....	0.1 gr	para 75 ml → 0.015 gr
KCl	0.75 gr	para 75 ml → 0.1125 gr
H ₂ O Destilada.....	500 ml	si: 500 ml → 1 Litro (1000
pH final: 4.6		X → 150 ml X
Bajar con H ₂ SO ₄ (10N) Se autoclava		
Solución B		
Agar.....	6 gr.	Para 72 ml → 0.9 gr
H ₂ O Destilada.....	480 ml	si: 480 ml → 1 Litro (1000
		X → 150 ml X =
Se autoclava		
Solución C		
FeSO ₄ . 7 H ₂ O	2 gr.	Para 1.5 ml → 0.3 gr
H ₂ O Destilada.....	10 ml	si : 10 ml → 1 Litro (100
Bajar con H ₂ SO ₄ (10N) No se autoclava		X → 150 ml X

Preparación del medio sólido 9K (150ml)		
Solución A		
(NH ₄) ₂ SO ₄	0.5 gr	para 75 ml → 0.075 gr
Mg SO ₄ . 7H ₂ O.....	0.1 gr	para 75 ml → 0.015 gr
KCl	0.75 gr	para 75 ml → 0.1125 gr
H ₂ O Destilada.....	500 ml	si: 500 ml → 1 Litro (1000 ml)
pH final: 4.6		X → 150 ml X = 75 r
Bajar con H ₂ SO ₄ (10N) Se autoclava		
Solución B		
Agar.....	6 gr.	Para 72 ml → 0.9 gr
H ₂ O Destilada.....	480 ml	si: 480 ml → 1 Litro (1000 ml)
		X → 150 ml X = 72 m
Se autoclava		
Solución C		
FeSO ₄ . 7 H ₂ O	2 gr.	Para 1.5 ml → 0.3 gr
H ₂ O Destilada.....	10 ml	si : 10 ml → 1 Litro (1000 ml)
Bajar con H ₂ SO ₄ (10N) No se autoclava		X → 150 ml X = 1.5 r
Solución D		
Na ₂ SO ₃ . 5H ₂ O.....	2gr.	Para 1.5 ml → 0.3 gr
H ₂ O Destilada.....	10 ml	si : 10 ml → 1 Litro (1000 ml)
No se autoclava		X → 150 ml X = 1.5 r
Entonces 75 ml + 72 ml + 1.5 ml + 1.5 ml = 150 ml		



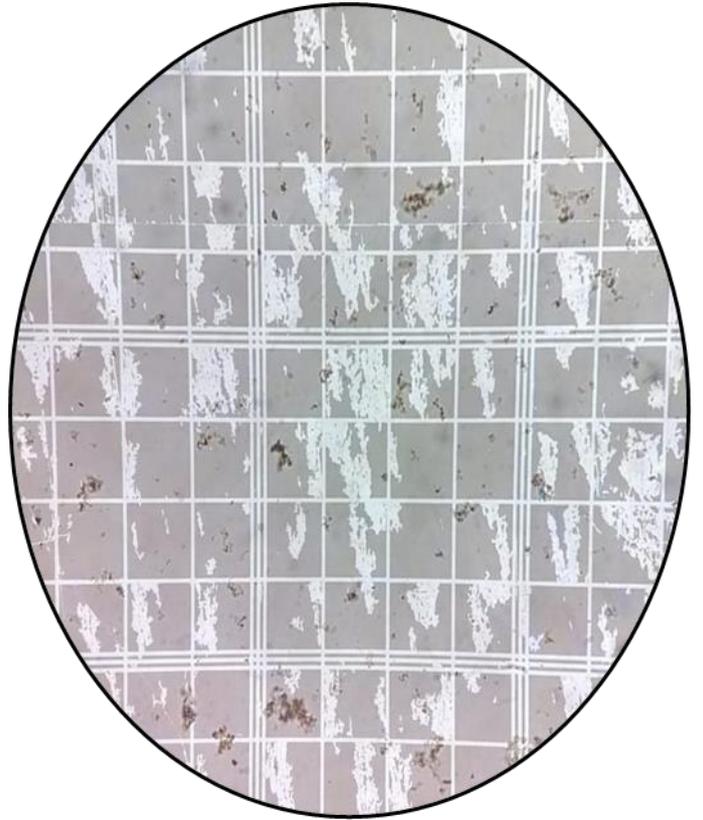
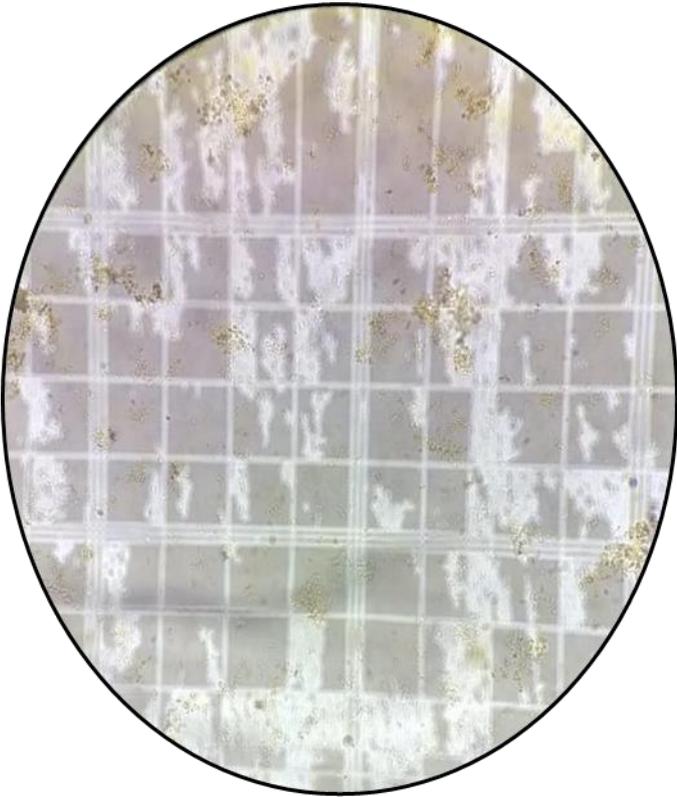
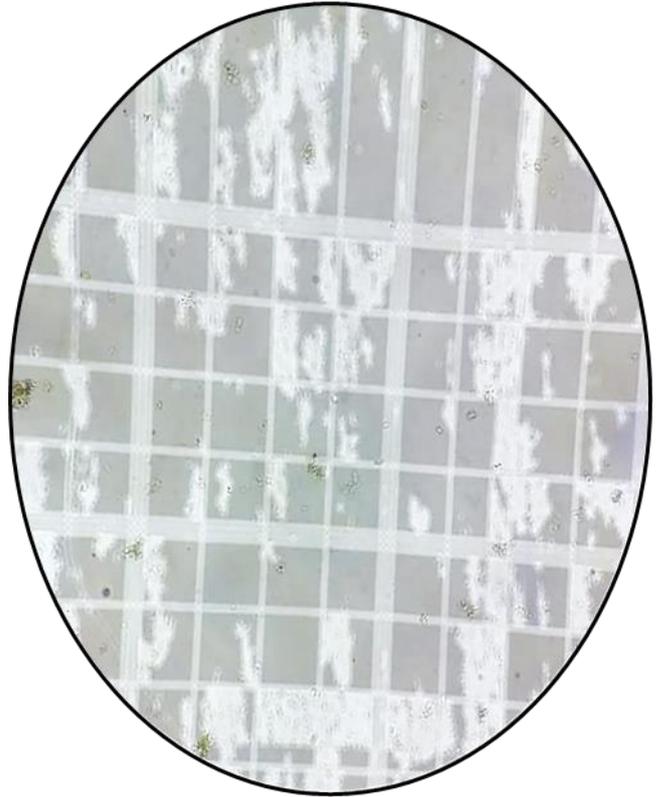
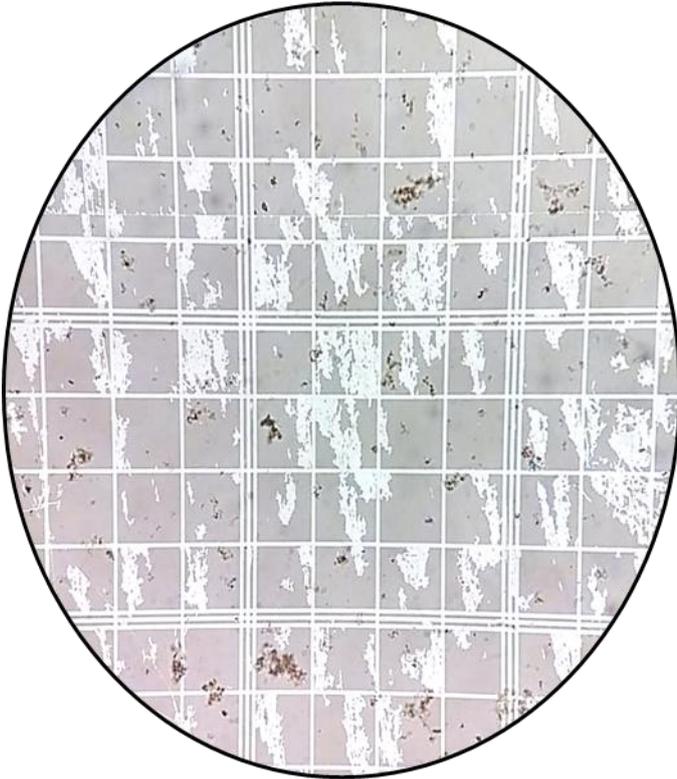
Ilustración 25: Adición de bacterias al medio corrosivo para inicio de pruebas



Ilustración 26: Proceso de corrosión bacteriana



Ilustración 27: Realizando el conteo de bacterias por día para determinar índice de morbilidad, asesorados por el Dr. Wilton Rojas Montoya



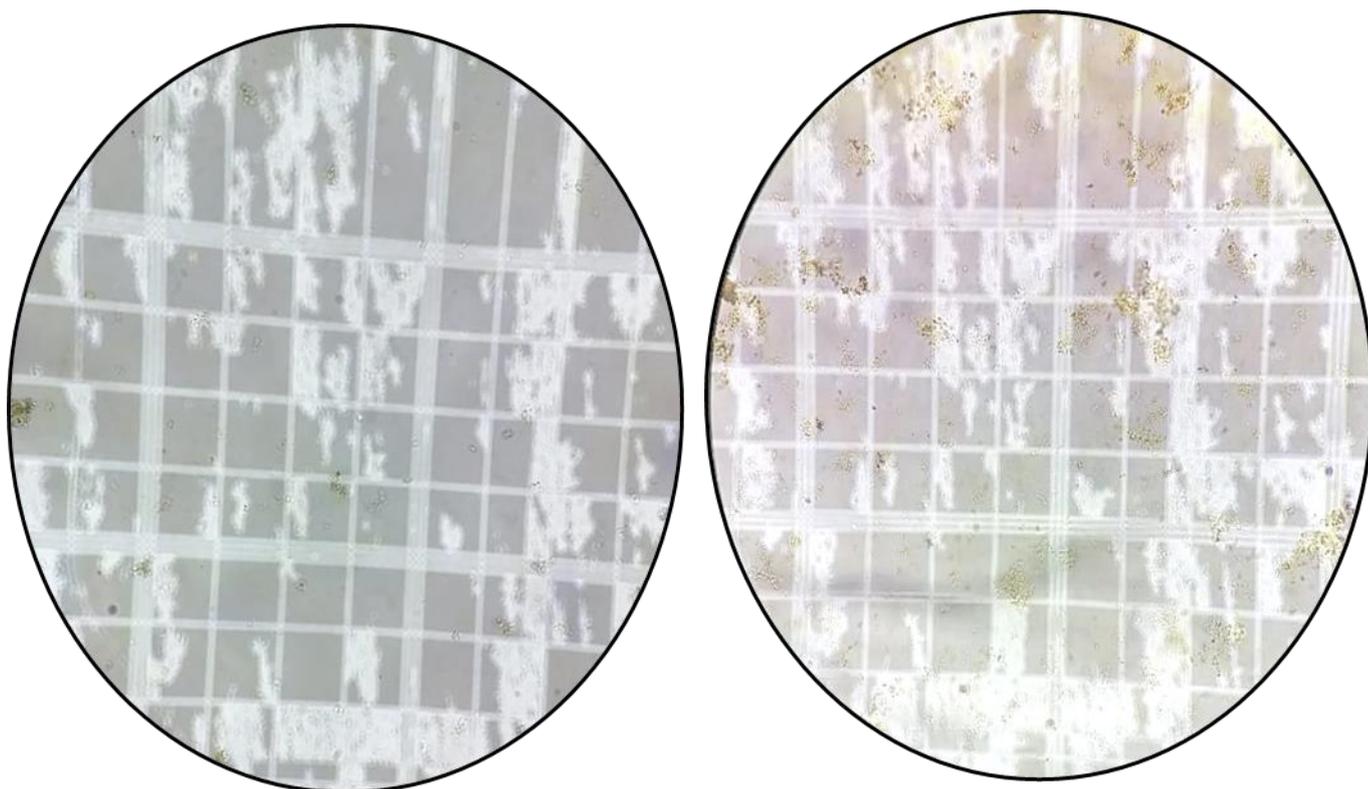


Ilustración 29: Bacterias tomadas en el microscopio

$(0.2 \times 0.2) = 0.04 \text{ mm}^2$ de cada cuadrado pequeño en rojo $(0.04 \text{ mm}^2 \times 5 \text{ cuadros}) = 0.2 \text{ mm}^2$

$(0.2 \text{ mm}^2 \text{ de área total de recuento}) (0.1 \text{ mm profundidad}) = 0.02 \text{ mm}^3 \text{ de volumen total.}$

Ejemplo: si obtuvimos una cuenta de 528 eritrocitos en total de los 5 cuadrantes:

$\text{Células/mm}^3 = \frac{(\# \text{ células contadas}) (\text{Factor de dilución})}{\left(\frac{1}{\text{Factor de volumen}} \right)}$

$\text{Células/mm}^3 = \frac{(528 \text{ eritrocitos}) (200)}{\left(\frac{1}{0.02 \text{ mm}^3} \right)}$

$\text{Células/mm}^3 = (528 \text{ eritrocitos}) \frac{(200) (50)}{1}$

$\text{Células/mm}^3 = (528 \text{ eritrocitos}) (10,000)$

$\text{Células/mm}^3 = 5,280,000 \text{ eritrocitos/mm}^3$
 $5.28 \text{ millones/mm}^3$

Ilustración 28: Forma de conteo de bacterias microbiológicamente



Ilustración 30: Pesado de probetas previa limpieza con Norma ISO 8407