



Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA



Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial, siempre y cuando den crédito y licencia a nuevas creaciones bajo los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>



EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD

CONSTANCIA

N° 054-DI-FIMM-2025

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud de **TESIS** cuyo título es:

**“ANALISIS COMPARATIVO DE RESISTENCIA A LA
CORROSION DE LAS TUBERIAS DE ACERO AL CARBONO Y
DE COBRE APLICADOS EN LA INSTALACION DEL GAS
NATURAL EN EL HOSPITAL EDGARDO REBAGLIATHI
MARTINS DEL DISTRITO DE JESUS MARIA LIMA”**

Presentado por:

FERNANDEZ JOYO JHAREFZ JOSHUANI

Que, se ha recibido del operador del programa informático evaluador de originalidad de la Facultad de Ingeniería de Minas y Metalurgia de la UNICA, el informe automatizado de originalidad, el mismo que concluye de la siguiente manera:

El documento de investigación APRUEBA los criterios de originalidad con un porcentaje de similitud de 13%.

Para dar fe, se adjunta al presente el reporte de similitud de las bases de datos de iThenticate. En Ica 27 de agosto de 2025.

Atentamente,

.....
DR. VICTOR MANUEL FLORES MARCHAN
DIRECTOR DE INVESTIGACION DE LA FIMM

“UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

Facultad de Ingeniería de Minas y Metalurgia



Tesis:

**“ANALISIS COMPARATIVO DE RESISTENCIA A LA CORROSION DE LAS
TUBERIAS DE ACERO AL CARBONO Y DE COBRE APLICADOS EN LA
INSTALACION DEL GAS NATURAL EN EL HOSPITAL EDGARDO REBAGLIATHI
MARTINS DEL DISTRITO DE JESUS MARIA LIMA”**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico.

Línea de investigación: Ciencias Naturales, Ingeniería y
Tecnologías Sostenibles.

Autora: FERNANDEZ JOYO JHAREFZ JOSHUANI

**ICA – PERÚ
2026**

DEDICATORIA

Dedicado a todas aquellas personas que influenciaron positivamente a que pudiera dar este gran paso en mi vida profesional.

A Jehová Dios, la fuente de todo el conocimiento, sabiduría y poder. Gracias colocar en mi corazón el deseo de aprender más de tu creación y mostrarme que nunca estoy sola, veo tu bondad a través de todos mis seres queridos.

A mis amados padres Luis y Lily, quienes siempre creyeron en mí, que algún día su hija lograría grandes cosas en la vida, gracias por el enorme esfuerzo que hicieron para apoyarme en mi educación desde muy pequeña. Son mi ejemplo de perseverancia y de amor genuino. Todos mis logros serán para ustedes siempre.

A mi hermanito Enrique, tu sola existencia alegra mis días, verte crecer ha sido una experiencia fascinante. Gracias por todas esas veces donde tu buen humor fue clave para darme ánimos de seguir adelante.

A mi esposo Sergio, amarte fue la mejor decisión que he tomado en mi vida, gracias por estar presente en los buenos y malos momentos. Sobre todo, por alentarme en los momentos más difíciles.

A mis abuelitos, que compartieron mucho de ellos con mi persona, desde comidas en familia, hasta apoyo económico y emocional en mi dificultosa y a la vez, emocionante etapa universitaria. Sus consejos sobre el estudio y el trabajo los llevo en mi corazón.

Todo con esfuerzo y perseverancia puede lograrse en la vida, si uno mismo se lo propone.

Este logro está dedicado a todos ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mis más sinceros agradecimientos a muchas personas que colaboraron a que haya logrado llegar hasta a este importante logro.

Agradecer a mi pilar fundamental, a mi amada familia por acompañarme en todo este proceso y brindarme su apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida.

Agradecer a todos esos buenos amigos de la universidad de la vida, colegas, mentores y docentes ejemplares que contribuyeron a mi formación profesional, a través de reuniones intensivas de estudio, de clases modelos, compartiendo consejos sobre cómo hacer mejor mi trabajo, etc. Todo eso ha contribuido a ser la persona que soy actualmente.

Soy muy afortunada de estar rodeada de personas maravillosas.



INDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
PORTADA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN	09
II. ESTRATEGIA METODOLOGICA	25
2.1. Antecedentes.	25
2.2. Marco teórico.	33
2.3. Marco conceptual.	42
2.4. Estrategia metodológica.	43
2.5. Procedimiento experimental.	65
III. RESULTADOS.	80
IV. DISCUSIÓN.	88
V. CONCLUSIONES	97
VI. RECOMENDACIONES.	101
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	103
VIII. ANEXOS.	106

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de corrosión pendiente de Tafel	20
Tabla 2. Operacionalización de Variables de Investigación Vcorr	69
Tabla 3. Datos de pérdida de Área por Vcorr tubería Acero Carbono.	73
Tabla 4. Datos de pérdida de Área por Vcorr tubería Cobre.	76
Tabla 5. Datos pérdida peso por Vcorr tubería de Acero carbono.	77
Tabla 6. Datos de pérdida de peso por Vcorr tubería de Cobre.	78
Tabla 7. Costo de análisis. Fuente: Elaboración propia.	81
Tabla 8. Costo Materiales Análisis Tuberías de acero y cobre	
¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 9. Presupuesto de gasto Total.	82
Tabla 10. Indicadores Tecnológicos y financieros.	84
Tabla 11. Análisis descriptivos datos de Tuberías de acero y cobre.	84
Tabla 12. Análisis Normalidad de datos de Tuberías de acero y cobre.	85
Tabla 13. Histograma campana de Gauss pérdida peso acero.	85
Tabla 14. Histograma campana de Gauss Vcorr área perdida Cobre.	85
Tabla 15. Histograma campana de Gauss Vcorr peso perdido Cobre	86
Tabla 16. Análisis de Correlación datos Tubería de acero y cobre.	86
Tabla 17. Costo Materiales Análisis Tuberías de acero y cobre	87
Tabla 18. Contrastación de la hipótesis general vcorr de la tubería de acero al carbono y de la tubería de cobre tipo I.	89
Tabla 19. Comprobación de las hipótesis estadísticas vcorr ambiental de la tubería de acero y de cobre tipo I.	90
Tabla 20. Comprobación de las hipótesis estadísticas nivel comparativo de resistencia a la Vcorr de la tubería de acero y de cobre tipo I	91
Tabla 21. Comprobación de la hipótesis estadística nivel comparativo de la corrosión galvánica de la tubería de acero y de cobre tipo I	92

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Inauguración de la instalación de gas en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins.	10
Figura 2. Diagrama de corrosión galvánica.	15
Figura 3. Diagrama de corrosión intergranular acero.	15
Figura 4. Diagrama de técnica electroquímicas de corrosión.	19
Figura 4. Diagrama de técnica de investigación de Vcorr.	48
Figura 5. Supervisando actividades con tuberías de acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4".	37
Figura 06: Trabajador revisando los acabados de pintura para evitar la pronta corrosión en la tubería de acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4".	37
Figura 07: Imagen referencial que muestra la dimensión de la tubería de cobre tipo L de 2" (1.78) mm de espesor).	41
Figura 08. Diagrama de técnica de investigación de Vcorr.	43
Figura 09. Potenciostato medición de corrosión de tubería de cobre y acero.	46
Figura 10. Balanza analítica de peso de tubería de cobre y acero.	46
Figura 11. Colorimétrico de corrosión de la tubería de cobre.	47
Figura 12. Microscopio Binocular para análisis de tubería de cobre y acero.	47
Figura 13. Micrómetro de medición de tubería de cobre y acero.	47
Figura 14. Vista de la facultad de Minas y Metalurgia Nasca.	66
Figura 16 y 17. (Izquierda) Probetas de cobre tipo L 2" y Acero al carbono SCH40 de 4" de 10 cm. (Derecha) Medición de probetas con micrómetro tras prueba de corrosión.	106
Figura 18 y 19: Realizando las pruebas de corrosión en laboratorio.	106

RESUMEN

El presente estudio de investigación sobre el análisis comparativo de la corrosión de las tuberías de cobre y acero son muy importantes a raíz de que a pesar de las tecnologías de aleación de anticorrosión que se han aplicado se dan tipos de corrosión que son motivos de investigación interesantes como es el caso de la corrosión por el mismo gas natural como es el caso de agentes gaseosos presentes en este caso del ácido sulfhídrico (H_2S) y el dióxido de carbono (CO_2) y Nitrógeno (H_2) así mismo en algunos casos por motivos de seguridad se adicionan compuesto de azufre como agentes odorantes para detectar fugas de GN estos gases presentes son oxidantes que deberán ser tomados en cuenta a fin de controlar la corrosión de la redes de tubería de cobre y acero así mismo en la actualidad el Hospital Edgardo Rebagliati Martins de Jesús María de Lima presenta en su estructura una instalación de red interna compuesta por tuberías de acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y de cobre tipo L de 2" (1.78 mm) de conducción de Gas Natural se planteó esta opción energética debido al bajo costo que se refleja en sus operaciones y de mejoras en los servicios donde se consume GN así mismo se presentaron situaciones muy importantes o retos a resolver tales como el control de la cinética de oxidación de las tuberías de acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y de cobre tipo L de 2" (1.78 mm) estas tuberías son de conducción de Gas Natural GN así mismo fue importante los análisis de las tuberías por corrosión en los aspectos de factor ambiental como la corrosión por alta temperatura, corrosión por alto nivel de salinidad ambiental, corrosión por alto nivel de humedad, los análisis electroquímicos de las probetas con la aplicación de la Curva de Tafel, La corrosión galvánica y las lluvias acidas y así mismo el nivel de gestión de la salud y seguridad del trabajador, la seguridad en el control de sellado o hermeticidad de las tuberías y su mantenimiento preventivo y correctivo ya que estos aspectos evitaban los riesgos que pueden convertirse en peligros inminentes de acuerdo al sistema de seguridad en el trabajo evitando así las deflagraciones o fugas de Gas Natural que es muy explosivo al contacto con chispas o calor por que se aplicaran las normas siguientes NTP 342.052, o ASTM B 88 para tuberías de cobre y la norma ANSI/ASME B 36.10, ASTM A 53 ó ASTM A 106 para tuberías de acero debido a todos estos aspectos en detalle el presente estudio plantea sus hipótesis para esta situación o problemática en una institución donde labora mucho personal profesional médico y técnicos de diversas áreas salvando vidas a sus pacientes.

Palabras Clave: Curva de Tafel, Corrosión, Corrosión galvánica, Corrosión Ambiental, Densidad de del cobre, Densidad del fierro, Temperatura de corrosión, Ley de Faraday, Velocidad de corrosión, Intensidad de corrosión, Sistemas de seguridad del trabajador.

ABSTRACT

The present research study on the comparative analysis of the corrosion of copper and steel pipes is very important because despite the anticorrosion alloy technologies that have been applied, there are types of corrosion that are interesting research reasons such as corrosion by natural gas itself, such as gaseous agents present in this case hydrogen sulfide (H₂S) and carbon dioxide (CO₂) and Nitrogen (H₂). Likewise, in some cases, for safety reasons, sulfur compounds are added as odorant agents to detect NG leaks. These gases present are oxidizing agents that must be taken into account in order to control the corrosion of copper and steel pipe networks. Likewise, currently, the Edgardo Rebagliati Martins Hospital in Jesús María de Lima has in its structure an internal network installation composed of 4 "(6.02 mm) SCH40 type carbon steel pipes and 2 "(1.78 mm) L type copper pipes for natural gas conduction. This energy option was proposed due to the low cost that is reflected in its operations and improvements in the services where GN is consumed. Likewise, very important situations or challenges to be solved arose, such as the control of the oxidation kinetics of the carbon steel pipes type schedule SCH40 of 4 "(6.02 mm) and copper type L of 2" (1.78 mm). These pipes are for conducting Natural Gas GN. Likewise, the analysis of the pipes for corrosion in the aspects of environmental factors such as corrosion by high temperature, corrosion by high level of environmental salinity, corrosion by high level of humidity, electrochemical analysis of the test tubes with the application of the Tafel Curve, galvanic corrosion and acid rains and also the level of management of the health and safety of the worker, safety in the control of sealing or hermeticity of the pipes and their preventive and corrective maintenance since these aspects will avoid the risks that can become imminent dangers according to the safety system at work avoiding so the deflagrations or leaks of Natural Gas that is very explosive when in contact with sparks or heat, the following standards will be applied: NTP 342.052, or ASTM B 88 for copper pipes and the ANSI / ASME B 36.10, ASTM A 53 or ASTM A 106 standards for steel pipes. Due to all these aspects in detail, the present study presents its hypotheses for this situation or problem in an institution where many professional medical personnel and technicians from various areas work saving the lives of their patients.

Keywords: Tafel curve, Corrosion galvanic, Corrosion environmental, Copper density, Iron density, Corrosion temperature, Faraday's law, Corrosion rate, Corrosion intensity, Worker safety systems.

I. INTRODUCCION

Este estudio tiene como objetivo desarrollar investigaciones orientadas al análisis comparativo de la corrosión que ocurre en tuberías de cobre y acero al carbono durante la conducción de gas natural. Entre los aspectos principales, se incluyen el análisis de los parámetros de control de corrosión y el establecimiento de una red neuronal artificial que permita predecir daños por corrosión en las tuberías de ambos materiales.

Para el procesamiento y predicción de datos se emplearán herramientas estadísticas como SPSS y métodos de estadística bayesiana, utilizando la arquitectura de Perceptrón Multicapa. Además, se aplicará rigurosamente la Norma Técnica Peruana NTP 111.011 (2014), que regula las tuberías de acero al carbono para gas natural seco en sistemas de tuberías de instalaciones internas residenciales y comerciales.

En el caso de las tuberías de cobre, se seguirá la normativa NTP 342.052 o la especificación ASTM B88, enfocándose en los tipos K y L. Cabe resaltar que las tuberías rígidas de cobre, fabricadas en los tipos M, L y K, son ideales para la conducción de fluidos en instalaciones fijas.

Toda esta información será analizada para la elaboración de una matriz de riesgos, que permitirá un adecuado control del sistema de tuberías de gas natural y garantizará la seguridad del personal del Hospital Edgardo Rebagliati Martins, ubicado en Jesús María, Lima.

Planteamiento del Problema.

En la actualidad, el Hospital Edgardo Rebagliati Martins, ubicado en el distrito de Jesús María en Lima, dispone de una red interna de conducción de gas natural conformada por tuberías de acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm de espesor) y tuberías de cobre tipo L de 2" (1.78 mm de espesor). La elección de este sistema respondió a criterios de eficiencia económica, debido al bajo costo del consumo de gas natural.

No obstante, la operación de dicha infraestructura presenta desafíos significativos relacionados con la seguridad y la integridad de los materiales. Entre los principales retos se encuentran el control de la cinética de oxidación de las tuberías, influenciada por factores ambientales como la temperatura, el nivel de salinidad, la humedad relativa y la incidencia de lluvias ácidas.

Adicionalmente, la prevención de riesgos asociados a la conducción de gas natural requiere la implementación de mecanismos efectivos para asegurar la hermeticidad de las conexiones, así como la ejecución periódica de labores de mantenimiento preventivo y correctivo. Estas acciones son esenciales para mitigar los peligros inherentes a posibles fugas o deflagraciones, considerando la alta explosividad del gas natural al entrar en contacto con fuentes de ignición, como chispas o calor.

Dado que la institución alberga a personal médico, asistencial, administrativo y pacientes de diversas áreas, el presente estudio plantea hipótesis orientadas a abordar esta problemática mediante los siguientes cuestionamientos:

- ¿Qué estrategias técnicas pueden adoptarse para mitigar el proceso de corrosión en tuberías de acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" y de cobre tipo L de 2"?
- ¿En qué medida es posible controlar y minimizar las fugas de gas natural en las líneas de conducción interna?
- ¿Qué mecanismos de gestión permitirán controlar de manera efectiva los riesgos y peligros asociados al uso de gas natural en las instalaciones del Hospital Edgardo Rebagliati Martins?



Figura 01- Inauguración de la instalación de gas en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins.



Problema de Investigación

Problema general

PG: ¿Qué métodos de análisis son necesarios para evaluar los aspectos relacionados con la corrosión en tuberías de acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y cobre tipo L de 2" (1.78 mm), utilizadas en el sistema de conducción de gas natural del Hospital Edgardo Rebagliati Martins, ubicado en Jesús María, Lima?

Problemas específicos

PE1: ¿Cuál es el impacto del grado de corrosión en las tuberías de acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y cobre tipo L de 2" (1.78 mm) empleadas en la red de distribución de gas natural del Hospital Edgardo Rebagliati Martins?

PE2: ¿En qué medida influye la pérdida de masa, producto de la corrosión, en la integridad de las tuberías de acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y cobre tipo L de 2" (1.78 mm) utilizadas para el transporte de gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins?

PE3: ¿Qué grado de afectación presenta el volumen de las tuberías de acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y cobre tipo L de 2" (1.78 mm), como consecuencia de los efectos de la corrosión, en el sistema de conducción de gas natural del Hospital Edgardo Rebagliati Martins?

Objetivos de la investigación

Objetivo general

Determinar el análisis comparativo de la resistencia a la corrosión de las tuberías de acero al carbono y de cobre utilizadas en la instalación de gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins, ubicado en el distrito de Jesús María, Lima.

Objetivos específicos

- Evaluar los niveles de corrosión en las tuberías de acero al carbono y de cobre utilizadas en la conducción de gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins.
- Determinar cómo la corrosión afecta la integridad de las tuberías de acero al carbono y de cobre instaladas para la conducción de gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins.

- Identificar los parámetros que influyen en el proceso de corrosión de las tuberías de acero al carbono y de cobre empleadas en la instalación de gas natural en dicho hospital.

Hipótesis y variables de la investigación.

Hipótesis general

El análisis comparativo de la resistencia a la corrosión de las tuberías de acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y de cobre tipo L de 2" (1.78 mm) influye directa y significativamente en la eficiencia y seguridad de la instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins, del distrito de Jesús María, Lima.

Hipótesis específicas

- La corrosión ambiental de las tuberías de acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y de cobre tipo L de 2" (1.78 mm), aplicadas en la instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins, es significativa.
- El nivel comparativo de resistencia a la corrosión de las tuberías mencionadas es alto en la aplicación e instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins.
- La corrosión galvánica afecta significativamente a las tuberías de conducción de acero al carbono y cobre utilizadas en el sistema de gas natural del Hospital Edgardo Rebagliati Martins.

Variables: $Y=f(X_1, X_2, X_3)$

La presente investigación tiene como variables los siguientes puntos:

Variable Independiente (X):

Análisis comparativo de la resistencia a la corrosión de tuberías de acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y cobre tipo L de 2" (1.78 mm).

Variable Dependiente(Y):

Aplicación en la instalación del sistema de gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins, distrito de Jesús María, Lima.

Indicadores:

Los indicadores de control de corrosión en tuberías de cobre y acero son esenciales para asegurar su durabilidad y evitar fallos por desgaste o daño debido a reacciones químicas con el entorno. Aquí te dejo una lista de los indicadores más relevantes para ambos materiales:

Indicadores de control para tuberías de cobre:

- **Tasa de corrosión (mmpy):** Medición de pérdida de material por año.
- **Potencial de corrosión:** Determina la tendencia del metal a corroerse en un medio específico.
- **Apariencia superficial:** Presencia de pátina (verde) como indicador visual de oxidación.
- **pH del medio:** Influencia del pH del gas o condensado sobre la velocidad de corrosión.
- **Resistencia de la capa protectora:** Evaluación del estado de la capa pasiva de óxidos.

Indicadores de control para tuberías de acero:

- **Tasa de corrosión (mmpy):** Indicador principal del desgaste.
- **Potencial de corrosión:** Determina el comportamiento frente al entorno.
- **Inspección visual:** Identificación de óxido (herrumbre) u otros signos visibles de degradación.
- **Espesor de la pared:** Medición mediante ultrasonido para evaluar pérdida de material.
- **Condiciones ambientales (humedad y temperatura):** Variables críticas que aceleran la corrosión.
- **Estado del recubrimiento:** Evaluación del recubrimiento protector (pintura, galvanizado, etc.).

-Indicadores aplicados en el proceso de investigación de análisis comparativo.

Análisis electroquímico (Curva de Tafel): Permite caracterizar el comportamiento corrosivo de los metales.

Medición de volumen y masa de la probeta: Para determinar pérdida de material.

Color del metal: Indicador cualitativo del tipo y grado de corrosión.

Medición de corrientes de corrosión: Evaluación de procesos galvánicos entre metales distintos.

Pruebas de impedancia electroquímica (EIS): Evaluación no destructiva del estado de protección del metal.

Uso de inhibidores: Evaluar su efecto en ambos materiales frente a ambientes agresivos.

Justificación e importancia de la investigación.

Justificación Teórica.

La corrosión es un proceso natural mediante el cual un metal sufre degradación como resultado de reacciones químicas o electroquímicas con su entorno. Este fenómeno se manifiesta cuando el metal entra en contacto con agentes corrosivos tales como oxígeno, agua, compuestos ácidos o básicos, y sales.

- **Mecanismo de la Corrosión**

Oxidación: El metal cede electrones y se transforma en iones metálicos. Un ejemplo común es la oxidación del hierro, que da lugar a la formación de óxidos de hierro.

Reducción: Los electrones liberados durante la oxidación son aceptados por un agente oxidante, como el oxígeno, lo que da origen a compuestos como óxidos o hidróxidos.

Formación de Productos de Corrosión: Los compuestos generados por la reacción corrosiva se depositan sobre la superficie metálica. Esta capa puede actuar como barrera protectora o, por el contrario, facilitar la progresión del daño, dependiendo de la naturaleza del metal y las condiciones del entorno.

- **Tipos de corrosión de metales**

La corrosión de los metales puede manifestarse en distintas formas, dependiendo de las condiciones del entorno y los materiales involucrados. A continuación, se describen algunos de los tipos más comunes de corrosión:

Corrosión Uniforme:

Descripción: Se presenta de manera generalizada sobre toda la superficie expuesta del metal, generando una pérdida de material constante y predecible.

Ejemplo: La formación de óxido (herrumbre) en el hierro cuando se encuentra en contacto con aire y humedad en condiciones ambientales normales.

Corrosión Galvánica.

Descripción: Ocurre cuando dos metales de diferente potencial electroquímico están en contacto directo en presencia de un electrolito, como el agua con sales disueltas. Esta diferencia de potencial genera una corriente que acelera la corrosión del metal menos noble.

Ejemplo: El deterioro del hierro cuando está en contacto con cobre en una instalación de tuberías.

Corrosión por Picaduras.

Descripción: Es una forma de corrosión localizada que da lugar a pequeñas cavidades o perforaciones en la superficie del metal, a menudo difíciles de detectar en sus primeras etapas.

Ejemplo: Formación de picaduras en acero al carbono expuesto a ambientes con cloruros.



Figura 02. Diagrama de corrosión galvánica

Corrosión Intergranular.

Descripción: Se desarrolla a lo largo de los bordes de grano en una aleación metálica, afectando la cohesión estructural del material. Esta forma de corrosión suele presentarse cuando el metal ha sido expuesto a temperaturas elevadas, lo que provoca la precipitación de compuestos en los límites de grano.

Ejemplo: Acero al carbono sometido a condiciones de alta temperatura y con elevado contenido de carbono.

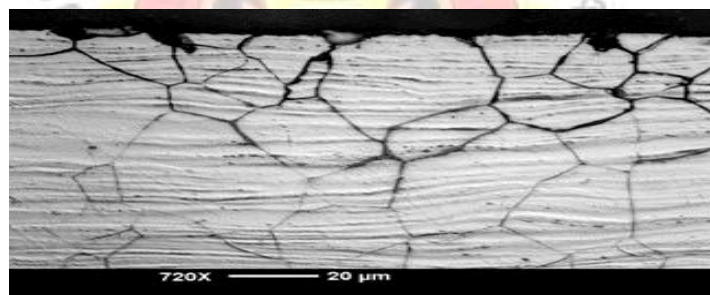


Figura 03. Diagrama de corrosión intergranular acero

Corrosión por Estrés (Stress Corrosion Cracking).

Descripción: Se produce cuando el metal está expuesto simultáneamente a tensiones mecánicas y a un medio corrosivo, lo que genera la aparición de grietas.

Ejemplo: Grietas en componentes de aleaciones de aluminio operando en ambientes marinos.

Corrosión por Fisuras (Crevice Corrosion).

Descripción: Se manifiesta en zonas confinadas o con geometrías estrechas, como uniones o costuras, donde la circulación del medio corrosivo es limitada, lo que propicia un microambiente agresivo.

Ejemplo: Corrosión en uniones mal selladas de componentes metálicos.

Corrosión Selectiva.

Descripción: Ocurre cuando uno de los elementos de una aleación se disuelve preferencialmente, mientras que el resto del material permanece relativamente inalterado.

Ejemplo: Deszincificación del latón, donde el zinc se elimina dejando una estructura porosa de cobre.

Corrosión en Fugas de Corriente (Stray Current Corrosion)

Descripción: Provocada por el paso no intencionado de corrientes eléctricas externas a través de un metal conductor, generando degradación localizada.

Ejemplo: Deterioro de tuberías de hierro cercanas a sistemas ferroviarios electrificados.

-Prevención de la Corrosión

- **Revestimientos Protectores:** Aplicación de películas de protección como pinturas, galvanizados o tratamientos anodizados para aislar el metal del medio agresivo.
- **Protección Catódica:** Instalación de ánodos de sacrificio o sistemas de corriente impresa para desviar la corrosión hacia un material más reactivo, preservando el metal principal.
- **Selección de Materiales:** Elegir metales o aleaciones con mayor resistencia a la corrosión para condiciones específicas de operación.
- **Control del Entorno:** Reducción de humedad, control de temperatura, ventilación adecuada y minimización del contacto con agentes corrosivos.

-Ejemplos Comunes de Corrosión

- **Óxido en Hierro:** Resultado de la oxidación del hierro en presencia de agua y oxígeno, produciendo Fe_2O_3 .

- **Cobre Verdigris:** Corrosión del cobre en ambientes húmedos y con aire, generando carbonato de cobre, de color verdoso característico.

-Factores que Afectan la Corrosión

- **Ambiente:** Humedad relativa, salinidad, temperatura y contaminantes atmosféricos pueden acelerar los procesos de corrosión.
- **Tipo de Metal:** Cada metal posee una resistencia intrínseca diferente frente a la corrosión. Por ejemplo, el acero al carbono es altamente susceptible a la oxidación en entornos agresivos y requiere protección mediante recubrimientos.

-Caracterización de la Corrosión del Cobre en Medios Fisiológicos Simulados por Técnicas Electroquímicas

- **Evaluar la Resistencia Anticorrosiva:** Determina el comportamiento del cobre ante un entorno simulado, evaluando su capacidad de resistencia a la degradación.
- **Análisis de Productos de Corrosión:** Identificación de los compuestos generados durante la exposición del cobre a medios corrosivos, con el fin de comprender el tipo de ataque sufrido.

-Métodos Utilizados

Técnicas Electroquímicas:

Estas herramientas permiten estudiar con precisión la interacción entre el metal y su entorno, cuantificando la corrosión sin necesidad de dañar el material. Son esenciales para el análisis de metales como el acero y el cobre.

-Potenciometría

Descripción: Mide el potencial electroquímico de un electrodo en una solución, permitiendo monitorear cambios en el potencial de corrosión en función de variables como el pH o la concentración iónica.

Aplicación: Evaluar el comportamiento electroquímico del acero y cobre en distintos medios.

-Curvas de Polarización.

Descripción: Consisten en aplicar un barrido de corriente y registrar la respuesta del potencial, obteniendo una gráfica que refleja la velocidad de corrosión en función del potencial aplicado.

Aplicación: Determinar parámetros clave como la densidad de corriente, el potencial de corrosión y las tasas de disolución anódica y catódica del metal.

-Espectroscopia de Impedancia Electroquímica (EIS).

Descripción: Esta técnica mide la respuesta del sistema a una señal de corriente alterna (CA) a diferentes frecuencias. La impedancia se analiza para obtener parámetros clave como la resistencia a la corrosión, la capacitancia de las capas protectoras (como las de óxido) y otros aspectos relacionados.

Aplicación: Se utiliza para evaluar la formación de películas protectoras en materiales metálicos, estudiar la efectividad de recubrimientos protectores y la capacidad de protección contra la corrosión de metales como el acero y el cobre.

- Prueba de Potencial de Corrosión (o Potencial de Sustitución)

Descripción: Consiste en sumergir el material en una solución corrosiva y medir su potencial frente a un electrodo de referencia (como el calomelano saturado o el electrodo de plata/cloruro de plata).

Aplicación: Esta técnica es útil para evaluar el comportamiento general de los metales en diferentes condiciones ambientales, como en acero expuesto a medios ácidos o básicos, o cobre en soluciones de cloruros.

-Técnica de Envejecimiento Electroquímico.

Descripción: El material se somete a un proceso electroquímico controlado de envejecimiento (por electrodeposición o inmersión en soluciones corrosivas) para simular condiciones de corrosión a largo plazo y estudiar la estabilidad del material.

Aplicación: Se utiliza para evaluar la resistencia de los metales al envejecimiento y la durabilidad de los recubrimientos de cobre o acero inoxidable en ambientes agresivos.

-Celdas Galvánicas.

Descripción: Estas celdas permiten estudiar las interacciones de corrosión entre dos metales distintos, como el acero y el cobre, los cuales funcionan como electrodos en una celda galvánica. Esto facilita el análisis de cómo un metal puede influir en la corrosión del otro.

Aplicación: Es especialmente útil en sistemas que combinan acero y cobre, como en instalaciones de fontanería o sistemas eléctricos, para evaluar los efectos de la corrosión galvánica.

-Técnica de Voltametría

Descripción: Consiste en realizar un barrido de corriente mientras se controla el potencial aplicado al electrodo. La corriente medida a diferentes potenciales proporciona información sobre los procesos redox, permitiendo identificar los productos de corrosión.

Aplicación: Se usa para estudiar los procesos de corrosión en metales como el cobre y el acero, analizando las reacciones de reducción y oxidación que ocurren durante la corrosión.

-Pruebas de Corrosión Rápida.

Descripción: Este método consiste en someter los metales a condiciones de alta corrosividad durante un tiempo breve para determinar la rapidez de la corrosión en ambientes extremos, como ácidos concentrados.

Aplicación: Permite evaluar la resistencia de metales como el acero y el cobre en condiciones altamente agresivas, típicas de ambientes industriales o químicos.

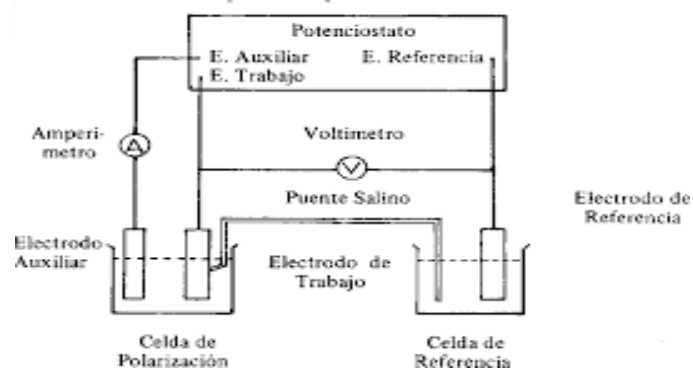


Figura 04. Diagrama de técnica electroquímica de corrosión.

Material/reaction	Corrosion current density	Weight loss per unit area and unit time	Average attack depth increment per unit time	
	$\mu\text{A}/\text{cm}^2$	mdd*	mm/year	mpy*
$\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$	1	2.51	1.16×10^{-2}	0.46
$\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$	1	2.84	1.17×10^{-2}	0.46
$\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$	1	2.93	1.5×10^{-2}	0.59
$\text{Ni} \rightarrow \text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^-$	1	2.63	1.08×10^{-2}	0.43
$\text{Al} \rightarrow \text{Al}^{3+} + 3\text{e}^-$	1	0.81	1.09×10^{-2}	0.43
$\text{Mg} \rightarrow \text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^-$	1	1.09	2.2×10^{-2}	0.89

* mdd = mg per dm^2 per day.
mpy = mils per year (1/1000 inches per year).

Tabla N°01 parámetros de corrosión pendiente de Tafel.

Análisis Superficial: Se utilizó **microscopía electrónica de barrido (SEM)** y **espectroscopía de energía dispersiva de rayos X (EDX)** para examinar la superficie de las muestras de cobre. Estos métodos permiten observar las características morfológicas y composicionales de la superficie afectada por la corrosión.

-Resultados Principales.

Liberación de Iones Cu^{2+} : Se detectó una liberación significativa de iones Cu^{2+} , particularmente en ambientes ácidos, lo que sugiere la disolución activa del cobre en estas condiciones.

Formación de Capa Protectora: Con el tiempo, se observó la formación de una capa de óxidos en la superficie del cobre, proporcionando cierta protección al metal contra la corrosión.

Protección Parcial: Esta capa óxida redujo la degradación del cobre en áreas específicas, aunque no proporcionó una protección total.

Método de estándar colorimétrico: Este método se basa en la observación de cambios en el color de la superficie de la tubería, debido a la formación de óxidos de cobre.

Preparación de la Muestra: Se limpia y se seca la superficie de la tubería de cobre para eliminar contaminantes.

Exposición a Medio Corrosivo: La tubería se expone a un medio corrosivo, como agua con oxígeno disuelto o un ambiente salino.

Observación del Cambio de Color: Con el tiempo, la superficie de la tubería cambia de color, generalmente adquiriendo tonos verdosos o marrones, indicativos de la formación de óxidos de cobre.

Comparación con Estándares: El color observado se compara con estándares de referencia para determinar el grado de corrosión.

Corrosión en Tuberías de Acero en el Uso de Gas Licuado

La corrosión de tuberías de acero en sistemas de distribución de gas licuado es un problema significativo que puede comprometer la integridad y seguridad del sistema.

-Factores de Corrosión en Tuberías de Acero

- **CO₂ y H₂S:** Los compuestos como el dióxido de carbono (CO₂) y el sulfuro de hidrógeno (H₂S) presentes en el gas licuado pueden inducir corrosión severa en las tuberías de acero.
- **pH del Medio:** El pH del entorno también influye en la velocidad de corrosión, acelerando el proceso en condiciones ácidas.
- **Temperatura y Presión:** Las altas temperaturas y presiones pueden acelerar el proceso de corrosión.

-Métodos de Estudio

- **Análisis de Peso:** Se emplean testigos de acero, que se exponen en condiciones de gas licuado y se mide la pérdida de peso después de un período determinado.
- **Resistencia Eléctrica:** Se usan probetas de resistencia eléctrica para medir la tasa de corrosión, proporcionando datos directos sobre la severidad del proceso corrosivo.
- **Modelos de Predicción:** Se desarrollan modelos matemáticos que predicen la corrosión en función de factores como la concentración de CO₂ y H₂S, presión, temperatura y pH del medio, proporcionando herramientas para anticipar la durabilidad de las tuberías.

Justificación metodológica

El análisis de la corrosión en las tuberías de cobre y acero en un entorno hospitalario es fundamental para garantizar la **seguridad, durabilidad y eficiencia** del sistema de distribución de gas licuado. A continuación, se detallan los aspectos clave que respaldan la metodología de este estudio:

Seguridad: La seguridad es una prioridad en un hospital. La corrosión de las tuberías de gas podría provocar fugas, lo que podría tener consecuencias catastróficas para la salud de los pacientes y el personal médico. Por tanto, evaluar y mitigar la corrosión es crucial para evitar fallos en el sistema y garantizar un entorno seguro.

Durabilidad: La evaluación comparativa de los materiales (cobre y acero) ayuda a identificar cuál es el más adecuado para soportar las condiciones operativas específicas de un hospital, prolongando así la vida útil de las tuberías. La durabilidad es esencial para minimizar la necesidad de reparaciones frecuentes y los costos asociados.

Eficiencia: Un análisis exhaustivo permite tomar decisiones basadas en datos precisos sobre cuál material es el más eficiente para el transporte de gas licuado, asegurando un suministro constante y confiable de gas sin interrupciones.

Regulaciones y Normativas: Los hospitales deben cumplir con estrictas normativas de seguridad y construcción. Un estudio detallado de la corrosión ayuda a garantizar que el sistema de tuberías esté conforme con los requisitos legales y reglamentarios, evitando posibles sanciones o infracciones.

-Metodología del Estudio

Selección de Materiales: Se comparan las tuberías de cobre y acero bajo condiciones simuladas de uso de gas licuado, teniendo en cuenta las características de corrosión de ambos materiales.

Simulación de Condiciones Operativas: Las tuberías se exponen a las condiciones típicas del gas licuado, como la presencia de CO_2 y H_2S , además de variaciones en la temperatura y presión, para simular las condiciones a las que están sometidas en un entorno hospitalario.

Monitoreo y Medición: Se utilizan técnicas avanzadas como el análisis de peso, la resistencia eléctrica, y la **espectroscopía de energía dispersiva de rayos X (EDX)** para evaluar la tasa de corrosión, la pérdida de material y la formación de productos de corrosión.

Análisis de Resultados: Los datos obtenidos de las mediciones se comparan para determinar cuál material presenta una mayor resistencia a la corrosión, de acuerdo con las condiciones específicas de uso en el hospital.

Este enfoque metodológico asegura que las tuberías de gas licuado utilizadas en el hospital sean seguras, duraderas y eficientes, lo que proporciona un servicio confiable y minimiza los riesgos operativos.

Justificación económica

El análisis económico es crucial para optimizar los costos y asegurar que la inversión en infraestructura sea rentable. A continuación, se presentan los aspectos clave de la justificación económica:

Costos Iniciales vs. Vida Útil:

Tuberías de Cobre: Tienen un costo inicial más alto, pero su mayor resistencia a la corrosión puede reducir significativamente los costos a largo plazo, ya que requieren menos mantenimiento y reemplazo.

Tuberías de Acero: Tienen un costo inicial más bajo, pero su mayor susceptibilidad a la corrosión puede generar costos adicionales debido a reparaciones y reemplazos frecuentes.

Mantenimiento y Reparaciones:

Cobre: La menor tasa de corrosión implica menos interrupciones en el servicio y, por ende, menores costos de mantenimiento. Esto es crucial en un hospital, donde la continuidad del servicio es esencial para las operaciones.

Acero: Requiere un mantenimiento más frecuente debido a la corrosión, lo que incrementa los costos directos de reparación y los costos indirectos asociados con las interrupciones en el servicio.

-Seguridad y Riesgos.

Cobre: Su mayor durabilidad y resistencia a la corrosión reducen el riesgo de fugas, minimizando los costos relacionados con accidentes de seguridad.

Acero: La mayor tendencia a la corrosión aumenta el riesgo de fugas, lo que puede generar costos significativos debido a incidentes y la necesidad de medidas de emergencia.

-Cumplimiento Normativo.

Cobre: Su mayor resistencia a la corrosión facilita el cumplimiento constante de las normativas de seguridad, evitando sanciones y multas.

Acero: Puede requerir mayores inversiones para cumplir con las normativas de seguridad debido a su mayor susceptibilidad a la corrosión.

-Costo de Ciclo de Vida.

Análisis Comparativo: Realizar un análisis comparativo permite calcular el costo total de propiedad (TCO) de ambos materiales, considerando factores como el costo inicial, el mantenimiento, las reparaciones y la vida útil de las tuberías. Este análisis ayuda a tomar decisiones informadas que optimizan la relación costo-beneficio a largo plazo.

Realizar un estudio comparativo sobre la corrosión en las tuberías de cobre y acero para el uso de gas licuado en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins permite a la institución tomar decisiones basadas en datos concretos, asegurando una inversión económica eficiente, un sistema seguro y un funcionamiento sin interrupciones, lo que contribuye a la salud y seguridad de los pacientes y al buen funcionamiento del hospital.



I. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

1.1. Antecedentes.

- **Antecedentes Internacionales**

Ticona Mamani, S. (2021) EVALUACIÓN DE INTEGRIDAD DE LA TUBERÍA DE RED PRIMARIA PARA SU MANTENIMIENTO EN LA DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL.

Resumen: El objetivo de este procedimiento es presentar los pasos para la inspección de las tuberías de acero enterradas en el tramo SENKATA - VIACHA, con el fin de realizar una evaluación detallada de la integridad de la red primaria de tuberías y asegurar su mantenimiento adecuado, garantizando así un suministro seguro y confiable a los clientes industriales, domésticos y comerciales.

Se debe iniciar con la recopilación de todos los datos relevantes de la tubería, que incluirán el año de construcción, diámetro, espesor, material, tipo de trazado, condiciones de enterramiento, presión de operación, sistema de protección anticorrosiva (aislante y protección catódica), así como las características del suelo, entre otros factores. Posteriormente, se llevará a cabo la recolección de información mediante inspección indirecta, utilizando la técnica de Gradiente de Voltaje de Corriente Directa (DCVG). Esta técnica proporcionará datos clave sobre posibles áreas de corrosión o deterioro.

Los resultados obtenidos de la inspección DCVG deben ser analizados cuidadosamente para identificar las áreas con riesgos potenciales. A continuación, se realizará una inspección directa mediante medición de espesores por ultrasonido en las zonas donde el revestimiento se haya deteriorado o donde se sospeche la presencia de corrosión. Se compararán los datos recolectados en ambas técnicas de inspección (directa e indirecta) para identificar las áreas con posibles daños en el revestimiento. La información obtenida será evaluada según los criterios de aceptación establecidos en la norma ASME 31G, que especifica los espesores mínimos requeridos.

Finalmente, con base en los resultados de la evaluación, se emitirán recomendaciones sobre las acciones correctivas necesarias para garantizar que la tubería continúe operando de manera segura y eficiente.

Alberto Quispe, Lurdes(2021) APLICACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN LA MEDICIÓN DEL DESGASTE DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS EN ESTACIONES DISTRITALES DE REGULACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO ULTRASÓNICO DE LA CIUDAD DE EL ALTO.

Resumen: El fenómeno de la corrosión no puede ser completamente eliminado, pero es posible gestionar su progresión antes de que cause inconvenientes. Existen numerosos métodos para detectar la corrosión, entre los cuales se encuentran los no destructivos. Es fundamental comprender estos tipos de pruebas, y en este proyecto se plantean las directrices a seguir al aplicar el método ultrasónico, ya que este aspecto es crucial para garantizar una ejecución correcta y obtener resultados fiables. Sin embargo, en muchos casos prácticos, no se realiza adecuadamente debido a que el personal administrativo o supervisor solo recibe los resultados de la prueba sin supervisar correctamente la ejecución del ensayo.

Este trabajo presenta los resultados de la evaluación de la corrosión en las tuberías y componentes de las estaciones distritales de regulación de la ciudad de El Alto, realizadas en los años 2019 y 2020, con el fin de estimar la vida útil restante de las tuberías y accesorios, así como para planificar futuras mediciones y evaluar el desgaste de acuerdo con las pautas de los códigos internacionales.

Para la medición de espesores se empleó la técnica no destructiva ultrasónica, utilizando el dispositivo DM5E, herramienta altamente útil y práctica para analizar la corrosión. Este método facilita la obtención de los espesores actuales en distintos puntos de las tuberías, previa calibración del equipo adecuado para medir el espesor del material, que en este caso es acero galvanizado. Con estos valores, es posible calcular la velocidad de corrosión de las tuberías y accesorios.

Además de medir el grado de corrosión, se examinarán los resultados obtenidos para calcular la velocidad de desgaste, lo cual es un indicador relevante para monitorear el avance de la corrosión. Se identificarán los componentes donde la reducción del espesor es más crítica. Para realizar las mediciones de forma correcta, se aplica el procedimiento de medición de espesores mediante el método pulso-eco, conforme a las directrices de YPFB – Redes de Gas, complementado con las normativas internacionales de API 570. Igualmente, para ciertos cálculos, se siguen las especificaciones de ASME B31.8.

Finalmente, se exponen los resultados obtenidos en cada estación distrital de regulación, junto con las recomendaciones necesarias para el mantenimiento de las instalaciones.

Gómez Prado, Nataly Pamela (2024) ESTUDIO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA PARA LA RED PRIMARIA AGUIRRE-COLOMI MEDIANTE LA NORMA INTERNACIONAL DE CONTROL DE CORROSIÓN EXTERNA DE UN SISTEMA DE TUBERÍAS.

Resumen: La red Primaria Aguirre-Colomi es una iniciativa llevada a cabo por Redes de Gas Cochabamba entre los años 2014 y 2016, por lo que se requiere un análisis del terreno donde se llevó a cabo la construcción, un área con alta humedad debido a las precipitaciones pluviales que se producen durante todo el año. Es fundamental implementar un sistema de protección contra la corrosión, ya que garantiza una vida útil mínima de 20 años de operación continua, cumpliendo con normativas tanto locales como internacionales, como el Reglamento de Diseño, Construcción y Operación de Redes de Gas Natural y las instalaciones internas (D.S. 1996), así como las normas internacionales para el transporte y distribución de gas mediante sistemas de tuberías.

Para alcanzar los objetivos propuestos, se realiza un estudio del suelo con el fin de caracterizar el tipo de terreno según su resistividad, utilizando datos obtenidos de YPFB Redes de Gas Cochabamba. Este proyecto evalúa diversas alternativas con base en la información recabada, desarrollando una metodología de cálculo conforme a las normas internacionales ASME, NACE y API. Se aplica un diseño para el sistema de protección anticorrosiva de la red primaria Aguirre-Colomi, validando tanto la metodología como el diseño con base en proyectos similares. La evaluación económica del proyecto incluye una valoración del sistema anticorrosivo, así como el costo estimado del presupuesto total. Los resultados indican que la metodología de cálculo, conforme a las especificaciones internacionales, es adecuada para el ducto enterrado, y el diseño del sistema de protección catódica es el más apropiado para este caso.

• Antecedentes Nacionales

Salamanca Sarmiento (2020) ESTUDIO DE LA DEGRADACIÓN Y CORROSIÓN EN TUBERÍAS DE COBRE, ALUMINIO Y ACERO EXPUESTAS A AMBIENTES SALINOS.

Resumen: El presente estudio analiza los cambios en las propiedades químicas y los efectos de la cristalización interna y externa en tuberías de acero comercial, cobre y aluminio, expuestas a un ambiente corrosivo simulado con ácido cítrico y cloruro de sodio. Se utilizaron probetas de 10 cm de longitud, registrándose sus dimensiones y pesos iniciales mediante una balanza de alta precisión. Las muestras fueron sometidas a calentamiento controlado durante 20 minutos, observándose posteriormente la formación de cristales de sal, así como cambios en la coloración de las superficies que evidencian procesos de corrosión y degradación. Los resultados, tanto cualitativos como cuantitativos, permitieron identificar al cobre como el material más resistente, debido a su mínima pérdida de masa y menor cantidad de cristales formados, recomendándose su uso en cámaras de niebla salina.

Clavijo Cáceres, Carlo Cesar (2014) SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA PARA TUBERÍAS ENTERRADAS DE TRANSMISIÓN DE GAS NATURAL.

Resumen: La presente tesis aborda como tema principal la corrosión de estructuras metálicas enterradas y los métodos de protección disponibles para mitigarla. Cuando un material metálico, como el acero, se encuentra en contacto directo con el suelo, tiende inevitablemente a degradarse, debido a que el hierro que lo compone busca retornar a su estado natural de óxido de hierro al reaccionar con el oxígeno presente en el ambiente subterráneo.

Si bien la corrosión de estructuras enterradas es un fenómeno químico inevitable, existen múltiples estudios, prácticas y normativas internacionales orientadas a su control y mitigación. Entre los métodos más efectivos destaca la protección catódica. Esta técnica fue descrita por primera vez en 1824 por Sir Humphry Davy ante la Royal Society de Londres, aplicándose inicialmente en el buque HMS Samarang mediante el uso de ánodos de hierro fijados al casco de cobre por debajo de la línea de flotación, logrando así una notable reducción en la velocidad de corrosión del cobre. No obstante, esta protección tuvo como efecto secundario un aumento en el crecimiento de organismos marinos, dado que la corrosión del cobre libera iones que actúan como inhibidores de fouling. Ante este inconveniente, la Royal Navy optó por prescindir de la protección catódica para mantener la ventaja natural del cobre en ambientes marinos.

Posteriormente, Michael Faraday, discípulo de Davy, profundizó en estos estudios y en 1834 estableció la relación cuantitativa entre la pérdida de material por corrosión y la corriente eléctrica aplicada, sentando las bases para el desarrollo sistemático de la protección catódica. Aunque Thomas Edison experimentó con la protección catódica por corriente impresa en buques en 1890, los avances significativos no se consolidaron sino hasta 100 años después, cuando en Estados Unidos se implementó ampliamente la

protección catódica en oleoductos de acero, inicialmente en 1928 y de forma masiva a partir de la década de 1930.

El estudio electroquímico de los metales mediante el diagrama de Pourbaix ha permitido perfeccionar los métodos de control de la corrosión para diversos materiales, consolidando a la protección catódica como una práctica de uso obligatorio en numerosos países, dada la cantidad de infraestructuras enterradas o sumergidas que requieren protección. En Perú, el uso de esta técnica ha cobrado creciente importancia.

Como referencia práctica, durante la ejecución de un proyecto específico, se instaló un sistema de protección catódica galvánica en tres tramos de tubería que presentaban más de seis meses de construcción (a partir del kilómetro 33+800). Al concluir la obra, se programó además la implementación de un sistema de protección catódica por corriente impresa para reforzar la integridad del ducto.

Huamán Ruiz, Eduardo Fidel (2023) PROPUESTA DE MEJORA DEL PROCESO CONSTRUCTIVO PARA REDUCIR LA CORROSIÓN EXTERNA EN REDES DE ACERO DE ALTA PRESIÓN EN UNA EMPRESA DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL, BASADO EN MEJORAS CON INGENIERÍA DE MÉTODOS Y LEAN MANUFACTURING UTILIZANDO ESTANDARIZACIÓN Y GESTIÓN DE CAMBIOS.

Resumen: Este estudio aborda la mejora de la corrosión externa detectada en las tuberías de acero de alta presión, instaladas en el sistema de distribución, las cuales fueron identificadas durante el proceso de evaluación de la integridad de la infraestructura, realizado después de 7 años de operación. Durante el análisis, se identificaron brechas técnicas, donde, según la NACE International, los costos globales de corrosión representan un promedio del 3.4 %, mientras que Cálidda ha registrado un 13.4 % de su presupuesto anual en OPEX debido a estos problemas.

En el año 2021, luego de la evaluación, se determinó la necesidad de realizar 99 excavaciones (apiques) para reparar la corrosión externa detectada, con un costo de reparación de S/. 2.73 millones. Durante las actividades de reparación, se identificaron 433 eventos que se agruparon para determinar las cinco causas raíz de los problemas de corrosión.

A través de la mejora de métodos, la gestión del cambio y la estandarización se estableció que el procedimiento de aplicación de pintura epóxica consta de 16 pasos, de los cuales 5 tienen un impacto directo sobre las causas raíz del problema. Al mejorar estos pasos, se logra reducir y/o eliminar las causas de la corrosión identificadas.

Además, se propuso la implementación de evaluaciones indirectas adicionales después de la finalización de los trabajos, a los 1.5 años, con el fin de detectar posibles indicios de corrosión externa. Estos problemas podrán ser reparados por el contratista responsable durante el periodo de garantía de sus trabajos, evitando así costos adicionales para Cálidda. Finalmente, se llevó a cabo una validación mediante un piloto, el cual permitió confirmar que la propuesta es viable tanto técnica como comercialmente.

- **Antecedentes Locales.**

Contreras, R. L. (2022). DISEÑO E INSTALACIÓN DE TUBERÍAS DE COBRE TIPO LY PEALPE, PARA SUMINISTRAR 100 M³/H DE GAS NATURAL, AL MERCADO VIRGEN DE LAS MERCEDES-LURÍN.

Resumen: La investigación se centra en el diseño y la implementación de las redes internas de tuberías, contemplando una línea montante en cobre tipo “L” y una red individual interna con tuberías multicapa de PEALPE, destinada al mercado “Virgen de las Mercedes” en el distrito de Lurín, Lima. Dicho mercado contará con un suministro de gas natural de 100 m³/h para garantizar el desarrollo de sus actividades comerciales. El proyecto se desarrolla conforme a las normativas técnicas y de seguridad, tanto nacionales como internacionales, aplicables a instalaciones de gas natural en el ámbito comercial. El plano de distribución detalla la disposición de los equipos a gas en cada puesto, así como el diseño y dimensionamiento de las tuberías, los sistemas de ventilación, la selección de equipos de regulación y medición, además de los materiales y accesorios necesarios para su correcta ejecución.

El sistema proyectado incluye una sola etapa de regulación de presión y la instalación de medidores de gas en cada puesto del mercado. La regulación se llevará a cabo en gabinetes S22 ubicados en la fachada, donde el gas natural proveniente de la red pública, a una presión de 4 bar, será reducido a 340 mbar antes de ingresar al mercado mediante tuberías de cobre tipo “L”. Desde estos gabinetes, que disponen de un medidor por puesto, el gas se distribuirá hacia los equipos a través de tuberías multicapa de PEALPE.

Si bien la inversión inicial asciende a S/. 45,816.00, se compensa con un ahorro mensual aproximado del 30% frente al consumo de gas licuado de petróleo (GLP). A ello se suma la eliminación del reemplazo periódico de cilindros de GLP y la incorporación de un sistema de gas natural más seguro, eficiente y amigable con el medio ambiente, al contribuir con la disminución de emisiones de CO₂.

Oliva Conde, L. Á. (2021). ESTUDIO COMPARATIVO SOBRE LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN EN ACEROS INOXIDABLES UTILIZADOS EN INTERCAMBIADORES DE CALOR.

Resumen: La corrosión es un fenómeno que provoca pérdidas económicas significativas en diversas industrias a nivel mundial, debido a su capacidad para destruir los materiales constitutivos de los componentes de los equipos. Un ejemplo claro de ello son los intercambiadores de calor, que son utilizados en una variedad de procesos industriales de calentamiento y enfriamiento, mediante el uso de fluidos corrosivos. Debido a las exigencias de resistencia a la corrosión, los materiales de fabricación de estos intercambiadores, tales como tuberías, carcasas y baffles, se eligen principalmente entre aceros inoxidable. Los aceros inoxidable austeníticos AISI 316L y AISI 304L son comúnmente utilizados, dada su alta resistencia a la corrosión. Sin embargo, el elevado costo de estos aceros inoxidable incrementa significativamente el coste de fabricación de los intercambiadores de calor, lo que motiva la búsqueda de alternativas más económicas. En este sentido, el presente estudio tiene como objetivo realizar un análisis comparativo de la resistencia a la corrosión entre el acero inoxidable austenítico AISI 316L y el acero inoxidable ferrítico AISI 430, que presenta un costo considerablemente menor. El propósito es determinar si el acero inoxidable ferrítico AISI 430 puede ofrecer un comportamiento anticorrosivo adecuado para los intercambiadores de calor de coraza y tubos, sin comprometer la integridad estructural y funcional de los equipos. Las pruebas se llevarán a cabo mediante la técnica electroquímica de extrapolación de Tafel, que proporciona una estimación precisa de la tasa de corrosión general del material. Adicionalmente, se realizará una prueba de polarización cíclica para evaluar el comportamiento del material frente a la corrosión localizada por picaduras. Ambas pruebas se realizarán en soluciones de cloruro de sodio (NaCl) a concentraciones del 3.5% y 3.0%, a temperatura ambiente de $25 \pm 1^\circ\text{C}$. Los resultados obtenidos permitirán establecer una comparación técnica del rendimiento anticorrosivo del acero inoxidable ferrítico frente al acero inoxidable austenítico, evaluando su viabilidad para su uso en aplicaciones críticas como los intercambiadores de calor de coraza y tubos.

Sarmiento, J. R. S., Cruz, N. I. V., Sepúlveda, D. N. L., Tique, J. A. T., Yanquen, L. Y. G., & Gonzales, P. J. G. (2020). ESTUDIO DE LA DEGRADACIÓN Y CORROSIÓN EN TUBERÍAS DE COBRE, ALUMINIO Y ACERO EXPUESTAS A AMBIENTES SALINOS. INGENIERÍA: CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN, 7(2).

Resumen: El presente estudio analiza los efectos de la corrosión en tuberías fabricadas con acero comercial, cobre y aluminio, considerando las variaciones en sus propiedades químicas, así como los procesos de cristalización interna y externa. Para ello, se realizó una comparación de los resultados experimentales obtenidos tras exponer las tuberías a un medio corrosivo compuesto por ácido cítrico y cloruro de sodio. Los análisis cualitativos y cuantitativos del comportamiento de los metales evidencian que la correcta elección del material resulta esencial para garantizar el transporte seguro de una mezcla de agua salina dentro de una cámara de niebla salina.

Para las pruebas, se emplearon probetas de 10 cm de longitud de tuberías comerciales, y se registraron los parámetros iniciales como longitud, diámetro y peso mediante una balanza digital de alta precisión BJ410C. Se simuló un ambiente corrosivo con ácido cítrico y cloruro de sodio, aplicando una mezcla que fue calentada a 20 minutos a temperatura controlada. Una vez completado el ensayo, las muestras se dejaron reposar a temperatura ambiente, observándose la formación de cristalización salina tanto en la superficie interna como externa de las muestras. Posteriormente, se retiró la cristalización y se analizó el cambio de color en las muestras, lo que permitió identificar la presencia de corrosión y degradación del material.

Los resultados obtenidos evidencian que el cobre es el material más eficaz para su uso en cámaras de niebla salina, ya que muestra el menor desprendimiento de material y presenta una cantidad significativamente reducida de formación de cristales en comparación con otros metales como el acero y el aluminio.

2.2. Marco teórico

Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

Tubos de acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm)

Los estudios sobre la corrosión de los tubos de acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) en aplicaciones de gas natural (GN) se centran en la evaluación de los efectos corrosivos que pueden comprometer la integridad estructural de las tuberías a lo largo del tiempo. Dado que el acero al carbono es altamente susceptible a la corrosión, es crucial realizar un monitoreo continuo y llevar a cabo pruebas exhaustivas para asegurar la seguridad y fiabilidad de las instalaciones. Los métodos utilizados para evaluar los niveles de corrosión abarcan diversas técnicas de monitoreo, análisis de datos, investigaciones de campo y simulaciones experimentales. A continuación, se presentan algunos de los enfoques más utilizados en dichos estudios:



-Medición de la Tasa de Corrosión

La tasa de corrosión se evalúa para determinar el ritmo al que un material se ve afectado por procesos corrosivos. Entre las metodologías empleadas para medirla, se incluyen:

- **Pruebas de pérdida de peso:** Esta técnica consiste en medir la variación en el peso de una muestra de acero al carbono expuesta a gas natural durante un período de tiempo determinado. La pérdida de peso registrada se utiliza como un indicador directo del volumen de material que ha sufrido corrosión.
- **Medición de la densidad de corriente de corrosión:** A través de métodos electroquímicos, como el uso de un polarímetro de corriente de descarga o la técnica de curva de polarización, se mide la densidad de corriente generada por el proceso corrosivo. Esta medición permite obtener una estimación precisa de la tasa de corrosión, proporcionando una evaluación cuantitativa de la intensidad de la corrosión.

-Análisis de Microestructura y Corrosión Localizada

El análisis de la microestructura del acero permite observar la forma y la ubicación de la corrosión:

- **Microscopía electrónica de barrido (SEM):** Esta técnica permite realizar observaciones detalladas a nivel microscópico de las superficies corroídas, identificando formaciones como picaduras, grietas o cavidades que pueden indicar daños estructurales debido a la corrosión.
- **Mapas de corrosión mediante micro dureza:** Se lleva a cabo un análisis de la variación de la dureza del material en diferentes puntos de la muestra. La correlación entre las zonas de menor dureza y la presencia de corrosión permite generar mapas de las áreas afectadas, proporcionando una visión clara de los puntos más vulnerables.

-Monitoreo Continuo con Cápsulas de Corrosión: En instalaciones de gas natural, se pueden instalar cápsulas de corrosión dentro de las tuberías para realizar un seguimiento continuo del nivel de corrosión. Estas cápsulas se colocan dentro de las tuberías y miden la tasa de corrosión a través de la variación en el peso del metal expuesto, proporcionando datos en tiempo real sobre la evolución del deterioro.

- Pruebas Electroquímicas: Las pruebas electroquímicas son fundamentales para el monitoreo de la corrosión en acero al carbono. Entre las más comunes se encuentran:

- **Prueba de Polarización Lineal:** Esta técnica se utiliza para evaluar el comportamiento corrosivo del metal bajo la influencia de una corriente aplicada. Permite determinar la tasa de corrosión y la resistencia a la corrosión del material.

- **Espectroscopía de Impedancia Electroquímica (EIS):** Esta técnica proporciona información detallada sobre la resistencia de la capa protectora del acero al carbono, que puede ser afectada por la corrosión. EIS es particularmente útil para evaluar la integridad del revestimiento protector y detectar posibles daños internos.

- Corrosión por Efectos de los Compuestos del Gas Natural

Aunque el gas natural se considera un gas seco, puede contener impurezas como dióxido de carbono (CO_2), dióxido de azufre (SO_2) y agua, los cuales pueden inducir diversos procesos de corrosión en las tuberías de acero:

- **Corrosión por CO_2 :** El dióxido de carbono presente en el gas natural puede disolverse en agua y formar ácido carbónico, lo que provoca un ataque corrosivo en las superficies metálicas. Se analiza la concentración de CO_2 en el gas y su impacto en la tasa de corrosión, evaluando cómo esta impureza contribuye al deterioro de las estructuras metálicas.

- **Corrosión por SO_2 y H_2S (ácido sulfhídrico):** El contenido de azufre en el gas natural, especialmente en forma de H_2S , es altamente corrosivo. Este compuesto provoca la formación de ácidos que atacan las superficies de acero. Dada su alta reactividad, es esencial realizar un monitoreo constante de los niveles de H_2S para prevenir daños significativos en las tuberías y componentes de la infraestructura.

- **Corrosión inducida por humedad:** Aunque el gas natural se procesa para ser seco, la presencia de humedad residual puede acelerar la corrosión en las tuberías. La humedad en combinación con los compuestos del gas forma ácidos que favorecen el deterioro. Se estudian estrategias de deshidratación del gas para mitigar este efecto y se analizan los impactos de la humedad sobre las superficies de acero al carbono.

-Modelos de Corrosión y Simulaciones Computacionales

El uso de modelos predictivos y simulaciones computacionales se ha convertido en una herramienta avanzada para evaluar la corrosión en sistemas de tuberías. Estos modelos permiten simular las condiciones ambientales, la composición del gas y las propiedades del material para prever la velocidad de corrosión y los patrones de ataque en diferentes secciones de la red de tuberías:

• **Modelos de corrosión electroquímica:** Estos modelos predicen las tasas de corrosión basadas en parámetros electroquímicos, como el potencial de corrosión, la corriente de corrosión, la resistividad del material y la velocidad del fluido. Se utilizan para entender cómo las interacciones electroquímicas afectan la integridad del material a lo largo del tiempo.

• **Simulación de corrosión bajo aislamiento (CUI):** Para sistemas que utilizan aislamiento, las simulaciones computacionales permiten prever el comportamiento de la corrosión en áreas donde el aislamiento podría retener humedad o agentes corrosivos. Estos modelos ayudan a determinar la frecuencia óptima de las inspecciones y las recomendaciones sobre el tipo de recubrimientos más adecuados para proteger las superficies metálicas en condiciones específicas.

- Inspección por Ultrasonido y Radiografía

Las técnicas de inspección no destructiva, como el ultrasonido y la radiografía (rayos X), se emplean para evaluar la integridad de las tuberías sin causar daño físico:

Ultrasonido: Las ondas ultrasónicas se utilizan para medir el grosor de las paredes de las tuberías, proporcionando datos cruciales sobre la integridad de las mismas. La disminución del grosor de las paredes de las tuberías a lo largo del tiempo es un indicador directo de la corrosión interna, lo que permite una evaluación precisa de la condición estructural del material sin necesidad de retirarlo de su ubicación operativa.

Radiografía: La radiografía es una técnica no destructiva que permite observar la estructura interna de las tuberías y detectar posibles áreas donde la corrosión interna ha afectado el material. Al utilizar rayos X o gamma, es posible identificar visualmente defectos, vacíos o corrosión que no son evidentes desde el exterior, lo que facilita la toma de decisiones para intervenciones correctivas.

Conclusión

Los estudios sobre la corrosión en las tuberías de acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) en sistemas de gas natural deben considerar no solo el monitoreo continuo de las condiciones ambientales y la composición química del gas, sino también el análisis detallado de la integridad estructural de las tuberías. El uso de técnicas avanzadas como la polarización, la espectroscopía de impedancia electroquímica, los análisis microestructurales y la implementación de modelos predictivos son fundamentales para una evaluación precisa y la ejecución de estrategias de protección adecuadas. Esta combinación de enfoques permitirá garantizar la seguridad y la eficiencia operativa de las

instalaciones de gas natural a largo plazo, minimizando los riesgos de fallos estructurales y mejorando la vida útil de los sistemas de tuberías.

Figura 05: Supervisando actividades con tuberías de acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4”.



Figura 06: Trabajador revisando los acabados de pintura para evitar la pronta corrosión en la tubería de acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4”.



-Tubos de cobre tipo L de 2" (1.78 mm) para su aplicación en Gas Natural

El análisis de los niveles de corrosión en tuberías de cobre tipo L de 2" (1.78 mm) para su uso en sistemas de gas natural es crucial, ya que, aunque el cobre muestra una mayor resistencia a la corrosión en comparación con el acero al carbono, sigue siendo susceptible a ciertos mecanismos de corrosión bajo condiciones particulares. Este tipo de investigación tiene como objetivo evaluar cómo los componentes del gas natural, las condiciones ambientales circundantes y el diseño del sistema afectan la durabilidad del material. A través de este estudio, se pretende comprender mejor los factores que influyen en la degradación del cobre y, de esta forma, garantizar un desempeño fiable y seguro en las instalaciones de gas natural a largo plazo.

-Factores a Considerar en la Corrosión de Tubos de Cobre en Gas Natural

Composición del Gas Natural: El gas natural en su forma más pura es generalmente un gas no corrosivo, pero contiene diversos compuestos que pueden promover la corrosión de los metales. Estos incluyen:

Ácidos (CO_2 y H_2S): El dióxido de carbono (CO_2) y el sulfuro de hidrógeno (H_2S) son compuestos corrosivos que pueden inducir corrosión en los metales. El CO_2 puede disolverse en agua formando ácido carbónico, lo que puede causar corrosión en superficies metálicas. El H_2S , aunque en bajas concentraciones, puede generar corrosión galvánica y formación de sulfuros.

- **Humedad:** La presencia de agua en el gas natural puede ser un factor clave que favorezca la corrosión, especialmente si no se ha deshidratado adecuadamente el gas.
- **Componentes adicionales:** Otros contaminantes como amoníaco o partículas sólidas también pueden influir en el proceso de corrosión.

Corrosión Galvánica: El cobre, al ser un metal más noble en comparación con otros como el acero o el aluminio, presenta una mayor resistencia a la corrosión. Sin embargo, cuando entra en contacto directo con metales de menor nobleza en un medio conductor —como agua o soluciones electrolíticas— puede desencadenarse un proceso de corrosión galvánica. Este tipo de corrosión se produce debido a la diferencia de potencial eléctrico entre los metales, lo que genera una corriente electroquímica que acelera la degradación del metal menos noble.

-Corrosión por Efecto de Condiciones Ambientales

- **Condiciones de temperatura:** Las variaciones térmicas pueden modificar las propiedades físico-químicas del cobre, lo que a su vez puede intensificar la acción de los agentes corrosivos presentes en el entorno.
- **Condiciones de humedad:** A pesar de que en numerosos sistemas el gas natural pasa por un proceso de deshidratación, la presencia de condensados en el interior de las tuberías, ocasionada por variaciones de temperatura, puede generar condiciones de humedad que favorezcan la corrosión del cobre.

-Métodos para Estudiar los Niveles de Corrosión en Tubos de Cobre

-Monitoreo de la Tasa de Corrosión

- **Pérdida de peso:** Este es uno de los procedimientos más simples para evaluar la corrosión, y se basa en determinar la masa de una muestra de tubería de cobre antes y después de su exposición a condiciones operativas con gas natural durante un intervalo de tiempo específico. La diferencia de peso refleja la cantidad de material que ha sido corroído.
- **Pruebas electroquímicas:** Técnicas como la polarización lineal y la espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS) son herramientas útiles para cuantificar la velocidad de corrosión del cobre bajo condiciones controladas de exposición al gas natural. Estos métodos electroquímicos permiten obtener la tasa de corrosión de forma no invasiva, sin requerir la extracción de muestras físicas del sistema.

-Pruebas de Corrosión Localizada: El cobre puede presentar vulnerabilidad frente a formas de corrosión localizada, tales como la corrosión por picaduras o la corrosión intergranular.

Para detectar estos tipos de corrosión, se utilizan:

- **Microscopía electrónica de barrido (SEM):** Facilita la inspección detallada de las superficies de las tuberías, lo que permite detectar picaduras, fisuras u otras manifestaciones de corrosión severa.
- **Mapas de microdureza:** Permiten detectar cambios en la dureza superficial del material, los cuales pueden evidenciar la presencia de corrosión localizada.

-Corrosión Bajo Aislamiento (CUI): Cuando las tuberías de cobre están recubiertas con aislamiento, existe el riesgo de corrosión bajo aislamiento (CUI, por sus siglas en inglés). Este fenómeno se produce cuando el material aislante retiene humedad en contacto con la superficie metálica, lo que favorece la aceleración del proceso corrosivo. El análisis de CUI generalmente incluye:

- **Inspección visual del aislamiento:** para comprobar la ausencia de acumulación de agua o humedad retenida debajo del recubrimiento.
- **Pruebas de ultrasonido:** utilizados para evaluar el espesor del tubo sin necesidad de retirar el aislamiento y así identificar posibles zonas afectadas por corrosión interna.

Corrosión por Condiciones de pH: El nivel de pH del gas natural constituye un parámetro fundamental que puede afectar la corrosión del cobre. La presencia de compuestos como el dióxido de carbono (CO_2) puede acidificar el gas, incrementando la velocidad de corrosión. Para estimar la agresividad del entorno corrosivo, es posible realizar un análisis del pH del gas dentro de las tuberías.

Modelos Predictivos Para estimar la velocidad de corrosión y proyectar la vida útil de las tuberías de cobre bajo condiciones específicas de operación con gas natural, se emplean modelos matemáticos. Estos modelos consideran variables clave como:

- La composición química del gas.
- Las condiciones de temperatura y humedad.
- Las propiedades mecánicas del cobre.

Inspección Visual y No Destructiva El monitoreo preventivo mediante inspecciones visuales periódicas, junto con técnicas no destructivas como el ultrasonido o la radiografía, resulta fundamental para detectar indicios de corrosión tanto superficial como interna. Estas estrategias permiten identificar daños potenciales en etapas tempranas, evitando fallas estructurales mayores.

-Tipos de Corrosión en Tubos de Cobre en Gas Natural

- **Corrosión generalizada:** Este tipo afecta de manera homogénea la superficie del metal, produciendo una reducción gradual del espesor de las paredes de la tubería.
- **Corrosión localizada:** Incluye fenómenos como la corrosión por picaduras y por grietas, en los cuales ciertas zonas del tubo sufren un deterioro más pronunciado. Estas formas de corrosión son especialmente críticas debido a que pueden pasar desapercibidas y comprometer la integridad del sistema.
- **Corrosión por formación de sulfuros:** El cobre puede reaccionar con el sulfuro de hidrógeno (H_2S) presente en el gas natural, formando sulfuros de cobre, lo cual puede debilitar la estructura del material.

- **Corrosión por formación de óxidos:** La exposición al oxígeno contenido en el gas puede inducir la formación de óxidos de cobre sobre la superficie metálica, contribuyendo al deterioro progresivo del tubo.

-Conclusión

El análisis de los niveles de corrosión en tuberías de cobre tipo L de 2" (1.78 mm de espesor), utilizadas en sistemas de gas natural, debe contemplar tanto las características del gas (incluyendo la presencia de CO₂, H₂S y humedad) como las condiciones ambientales a las que están expuestas las instalaciones. Para evaluar la corrosión, se emplean técnicas como la medición de pérdida de masa, ensayos electroquímicos, microscopía electrónica y análisis por ultrasonido, todas ellas fundamentales para caracterizar el comportamiento del material. Los estudios deben enfocarse en determinar la velocidad de corrosión, identificar zonas críticas afectadas y evaluar la eficacia de los sistemas de protección o recubrimiento, con el objetivo de asegurar la durabilidad y confiabilidad del sistema de tuberías.



Figura 07: Imagen referencial que muestra la dimensión de la tubería de cobre tipo L de 2" (1.78) mm de espesor)

2.3 MARCO CONCEPTUAL

Corrosión:

Proceso electroquímico mediante el cual un metal se deteriora al reaccionar con su entorno, provocando la pérdida gradual de sus propiedades físicas y químicas.

Velocidad de corrosión (V_{corr}): Parámetro que mide la rapidez con la que un material metálico se degrada debido a la corrosión, generalmente expresado en milímetros por año (mm/año) o milésimas de pulgada por año (mpy).

Acero al carbono: Aleación de hierro y carbono ampliamente utilizada en tuberías industriales por su resistencia mecánica, aunque susceptible a procesos de corrosión en ambientes agresivos.

Cobre:

Metal con alta conductividad térmica y eléctrica, utilizado en sistemas de conducción debido a su resistencia moderada a la corrosión y buena durabilidad.

Pérdida de peso: Método experimental utilizado para determinar la velocidad de corrosión mediante la medición de la diferencia de masa de una probeta antes y después de su exposición a un ambiente corrosivo.

Pendiente de Tafel: Parámetro obtenido a partir de curvas de polarización electroquímica que permite determinar la densidad de corriente de corrosión y analizar la cinética de las reacciones electroquímicas.

Corrientes de Eddy: Técnica de ensayo no destructivo basada en inducción electromagnética que permite detectar defectos, cambios de espesor o zonas afectadas por corrosión en materiales metálicos.

Ensayos no destructivos (END): Conjunto de técnicas de inspección que permiten evaluar la integridad de un material o estructura sin alterar sus propiedades ni causar daño permanente.

Probeta: Muestra de material preparada con dimensiones específicas que se utiliza para realizar ensayos experimentales y evaluar propiedades físicas o químicas.

Vida útil: Periodo estimado durante el cual un material o componente puede desempeñar su función de manera segura antes de que el deterioro afecte su desempeño.

Tuberías para gas natural: Conductos metálicos diseñados para transportar gas natural bajo condiciones controladas de presión y temperatura, donde la integridad del material es fundamental para la seguridad del sistema.

Monitoreo de corrosión: Proceso de seguimiento y evaluación continua del estado de los materiales metálicos con el fin de detectar, controlar y prevenir el avance de la corrosión.

2.4 ESTRATEGIA METODOLOGICA

Tipo y Diseño de investigación

Enfoque de la investigación

El presente estudio se basa en un enfoque **explicativo**, ya que tiene como propósito identificar las causas y efectos de la corrosión en tuberías de acero al carbono y cobre. A través de la recolección de datos cuantitativos y cualitativos, se busca comprobar las hipótesis planteadas y establecer relaciones de causalidad entre los materiales utilizados y su comportamiento frente a la corrosión en la instalación de gas natural.

Tipo de la investigación

Según Lozada (2014), la investigación **aplicada** se orienta a la generación de conocimientos con una finalidad práctica, atendiendo problemáticas reales del sector productivo. Esta investigación se enmarca en dicho tipo, ya que busca aplicar conocimientos teóricos y resultados de laboratorio para resolver una problemática concreta relacionada con la durabilidad de las tuberías en instalaciones de gas natural, específicamente en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins, en el distrito de Jesús María, Lima.

Nivel de la investigación

El estudio se desarrolla a nivel **descriptivo, observacional y experimental**, dado que se analizarán propiedades físicas y químicas de las tuberías a través de ensayos en laboratorio. Se busca describir el comportamiento frente a la corrosión, observando variables como el potencial electroquímico, el pH del medio, el espesor y el estado superficial de las probetas, para luego interpretar los resultados en base a comparaciones estructuradas.

Diseño de investigación

El diseño adoptado es **cuasiexperimental**, ya que se trabaja con muestras extraídas del sistema existente (tuberías reales instaladas) y se someterán a pruebas controladas en laboratorio. La manipulación parcial de las variables se limita a condiciones de ensayo, sin modificar la estructura real de la instalación. Este diseño permite comparar los niveles de corrosión bajo parámetros estandarizados.

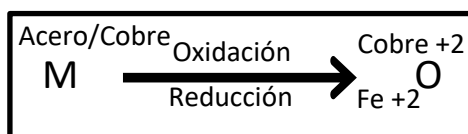


Figura 08. Diagrama de técnica de investigación de V_{corr} .

Donde:

- **M:** Muestra (tubería de acero al carbono o cobre)
- **O:** Observación de la variable (nivel de corrosión mediante curva de Tafel)

Técnica e instrumentos de la recolección de la información

Técnicas de control muestral

Se utilizarán las siguientes técnicas:

- **Análisis documental:** Revisión de literatura científica, normas ASTM y estudios previos sobre corrosión en tuberías de cobre y acero.
- **Observación directa:** Inspección visual y colorimétrica de las probetas, comparando signos de oxidación de acuerdo con estándares internacionales.
- **Experimentación:** Aplicación de ensayos electroquímicos para determinar la tasa de corrosión, resistencia superficial y comportamiento frente a agentes corrosivos.
- **Análisis comparativo Pre-Test y Post-Test:** Comparación entre los datos iniciales y los resultados obtenidos después del ensayo de corrosión.

Pasos metodológicos:

1. **Recolección de información documental:** Revisión de fuentes bibliográficas, artículos científicos, tesis y bases de datos.
2. **Obtención y preparación de muestras:** Selección y corte de probetas representativas de las tuberías en estudio.
3. **Experimentación de laboratorio:** Aplicación de técnicas como curvas de Tafel, espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS) y observación visual.
4. **Tratamiento de datos:** Uso de software estadístico (Microsoft Excel e IBM SPSS Statistics 26) para validar hipótesis y realizar análisis inferencial.

Instrumentos de información

-Cuestionarios. Para recolectar información complementaria sobre el control de la corrosión de tubería de cobre y acero de una instalación de red interna compuesta por tuberías de acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y de cobre tipo L de 2" (1.78 mm) de conducción de Gas Natural.

-Investigaciones sobre los tipos de corrosión tuberías de acero y cobre usados en GN que se encuentran en los diversos portales como Scopus, Cielo, Google Académico.

-Base de datos sobre de niveles de oxidación y sus normas de control ASTM de tuberías de cobre y acero.

Población:

La población está conformada por las redes de tubería de cobre y acero del Hospital Edgardo Rebagliati Martins de Jesús María de Lima presenta en su estructura una instalación de red interna compuesta por tuberías de acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y de cobre tipo L de 2" (1.78 mm) de conducción de Gas Natural y que será analizada en laboratorio de la Facultad de Ingeniería Metalúrgica de Nasca.

Muestra:

Las muestras están conformadas por dos tipos de tuberías de acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y de cobre tipo L de 2" (1.78 mm) de conducción de Gas Natural.

Técnicas de data

-Técnicas utilizadas en la recolección de datos son las siguientes:

-Análisis documental- Registro de contenido de niveles de corrosión de las tuberías de acero y cobre.

-Observación directa- Registro de observación de niveles de corrosión de las tuberías en campo de forma visual y su análisis colorimétrico de acuerdo a las normas ASTM.

Pasos:

-Primer Paso: Técnica de recolectar información.

Se realiza mediante la búsqueda de información en libros, revista científicas y trabajos de Investigación.

-Segundo Paso: Obtención de Muestras, Análisis de las probetas.

-Tercer Paso: Técnica de experimentación en la muestra, comparar los resultados del Pre-Test y Post-Test.

-Cuarto Paso: Tratamiento de Datos, se utilizará programas estadísticos como el Microsoft Excel y IBM SPSS Statistics Visor 26. Este último, nos ayuda a tomar decisiones de aceptar o rechazar las hipótesis de nuestra matriz de consistencia y posteriormente interpretar los resultados del análisis.

Instrumentos utilizados en la recolección de datos

- **Medidor Potenciostato:** Instrumento clave para la medición de la resistencia a la corrosión. Permite aplicar técnicas como voltamperometría cíclica y espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS), identificando el comportamiento anódico y catódico de los metales.

Este equipo ayuda a determinar los rangos de oxidación y reducción, y permite establecer la velocidad de corrosión en función de la densidad de corriente.

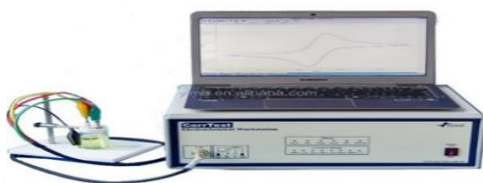


Figura 09. Potenciostato medición de corrosión de tubería de cobre y acero

- **Medidor de pH:** Herramienta empleada para determinar el nivel de acidez o alcalinidad del medio donde se encuentran las probetas. El pH del ambiente o de los cuerpos húmedos que rodean las tuberías influye directamente en el proceso corrosivo, por lo que su medición es clave para el análisis comparativo.
- **Balanza Analítica:** Permite registrar con precisión el peso de las probetas tanto antes como después de los ensayos de corrosión (Pre-Test y Post-Test). Esta medición es esencial para calcular la pérdida de masa por corrosión, y con ello, estimar la tasa de corrosión en función del tiempo y la superficie expuesta.



Figura 10. Balanza analítica de peso de tubería de cobre y acero.

- **Análisis colorimétrico ASTM D 130 de tubería de cobre:** Conocido como prueba de tira de cobre, este método estándar se utiliza para evaluar la corrosividad de productos derivados del petróleo en contacto con cobre. Mediante la observación visual del cambio de color en la superficie metálica, se determina de forma cualitativa el grado de oxidación

del cobre, lo cual también puede aplicarse al análisis comparativo en acero. Este análisis se basa en una escala de colores normada por ASTM que permite establecer el nivel de corrosividad observado.



Figura 11. Colorimétrico de corrosión de la tubería de cobre.

- **Microscopio Binocular:** Es un tipo de microscopio óptico que dispone de dos oculares, permitiendo al usuario observar la muestra con ambos ojos de forma simultánea. Esta configuración proporciona una visión estereoscópica o tridimensional, lo que mejora la percepción de profundidad y reduce la fatiga visual durante observaciones prolongadas. Su diseño ergonómico facilita una visualización más cómoda y detallada, siendo ampliamente utilizado en laboratorios biológicos, metalúrgicos y de investigación para el análisis de muestras con mayor precisión.



Figura 12. Microscopio Binocular para análisis de tubería de cobre y acero.

- **Micrómetro:** para medir desgastes del volumen de las probetas producto de la corrosión de las tuberías de cobre y acero.



Figura 13. Micrómetro de medición de tubería de cobre y acero.

-Caracterización de la Tubería de acero al carbono cedula SCH4" (6.02mm) para gas natural (GN).

La tubería de acero al carbono de la cédula SCH 40” con un espesor de 6.02 mm, utilizada para la conducción de gas natural (GN), presenta características específicas que la hacen adecuada para este tipo de aplicaciones. A continuación, se detallan sus principales características:

- Material

Composición: Acero al carbono, generalmente con una aleación de hierro y carbono como elementos principales. A menudo, puede incluir pequeñas cantidades de otros elementos como manganeso, silicio y azufre.

Resistencia a la Corrosión: El acero al carbono puede ser susceptible a la corrosión, por lo que a menudo se aplica un recubrimiento protector, como pintura epóxica o galvanizado, para protegerlo en ambientes con alta humedad o contacto con el agua.

-Normas y Códigos de Diseño

La tubería de acero al carbono utilizada para la conducción de gas natural se fabrica conforme a normas y especificaciones internacionales que garantizan su calidad y seguridad. Entre las más relevantes se encuentran la **API 5L** (American Petroleum Institute), que establece los requisitos para tuberías de transporte de petróleo y gas, y la **ASTM A106** (American Society for Testing and Materials), que especifica las propiedades mecánicas y dimensiones de las tuberías de acero al carbono para altas temperaturas. Asimismo, el diseño e instalación de sistemas de transporte de gas natural deben cumplir con el código **ASME B31.8**, que proporciona los lineamientos para garantizar la seguridad, resistencia estructural y operación adecuada del sistema.

- Especificaciones de la Cédula SCH 40

Espesor de Pared (6.02 mm): La tubería utilizada presenta un espesor de pared de **6.02 mm**, correspondiente a una cédula SCH 40. Este espesor le permite soportar presiones internas moderadas a altas, adecuadas para la distribución de gas natural en entornos industriales y hospitalarios.

Presión Máxima de Operación: Determinada por el espesor, el diámetro y el tipo de material, la tubería SCH 40 ofrece una capacidad de operación segura bajo presiones estándar establecidas por normas internacionales, garantizando su funcionalidad en redes de gas natural.

-Dimensiones.

El **diámetro nominal (DN)** de la tubería es de **4 pulgadas (aprox. 101.6 mm)**, con un **diámetro exterior de 114.3 mm** debido al espesor de la pared. Estas dimensiones aseguran una conducción eficiente del gas y una instalación compatible con accesorios industriales comunes.

- Resistencia Mecánica

Resistencia a la Tracción: El acero al carbono posee una elevada resistencia a la tracción, lo que le permite soportar esfuerzos mecánicos internos sin deformaciones estructurales ni fallos, condición indispensable para sistemas de presión como las redes de gas.

Ductilidad y Flexibilidad: A pesar de su rigidez relativa, el material cuenta con una ductilidad suficiente para permitir doblados en obra, facilitando su instalación en configuraciones complejas.

-Aplicación en Gas Natural.

Propósito: La tubería de acero al carbono SCH 40 es ampliamente empleada en la conducción de gas natural debido a su capacidad mecánica, soldabilidad y disponibilidad en el mercado.

Seguridad: Estas tuberías se someten a ensayos de presión y hermeticidad antes de su puesta en servicio, minimizando riesgos de fugas. La confiabilidad estructural es un criterio esencial en entornos hospitalarios como el Hospital Edgardo Rebagliati Martins.

Temperatura: El acero al carbono mantiene su desempeño en condiciones de bajas temperaturas, propiedad relevante para el transporte de gas en ambientes fríos o con variaciones térmicas.

-Consideraciones Adicionales

Mantenimiento: La inspección periódica es fundamental para detectar zonas de corrosión o desgaste. Dado que el gas natural puede contener trazas de compuestos corrosivos, se recomienda aplicar técnicas de protección interna y recubrimientos cuando sea necesario.

Instalación:

Las tuberías SCH 40 permiten una instalación eficiente mediante soldadura o acoplamientos mecánicos, adaptándose a los estándares de ingeniería de redes internas hospitalarias.

Las tuberías de acero al carbono SCH 40 de 4" con 6.02 mm de espesor constituyen una solución robusta, económica y segura para el transporte de gas natural. No obstante, su

susceptibilidad a la corrosión requiere un monitoreo constante y estrategias de mitigación, especialmente en instalaciones críticas como centros hospitalarios.

-Mecanismos de control de la curva de corrosión de la tubería de acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) aplicados en conducción de Gas Natural para la obtención de los datos control y estudio.

El control de la corrosión en tuberías de acero al carbono tipo cédula SCH 40 de 4" (espesor 6.02 mm), utilizadas para la conducción de gas natural, es fundamental para garantizar la seguridad, durabilidad y eficiencia de los sistemas de distribución. La corrosión puede generar pérdidas de material que comprometen la integridad estructural, aumentando el riesgo de fugas, explosiones o interrupciones del servicio, especialmente en entornos sensibles como hospitales.

- Mecanismos de Control de la Curva de Corrosión

Existen varios mecanismos de control para mitigar la corrosión en las tuberías de acero al carbono, que son fundamentales en sistemas de gas natural, especialmente en entornos donde la exposición a factores corrosivos es alta (por ejemplo, ambientes húmedos o con presencia de elementos agresivos). A continuación, se describen los principales mecanismos:

-Recubrimientos Protectoras

Pinturas y recubrimientos epóxicos: Aplicados en forma líquida o en polvo, crean una capa impermeable que aísla la superficie metálica del agua, oxígeno y agentes corrosivos. Son comunes en sistemas expuestos al aire y al contacto intermitente con la humedad.

Recubrimientos bituminosos o de cemento: Utilizados para entornos subterráneos o húmedos, ofrecen protección adicional frente a la corrosión por contacto con suelos agresivos.

-Protección Catódica

La protección catódica reduce la velocidad de corrosión electroquímica de las tuberías al modificar el potencial eléctrico del acero:

- **Protección catódica galvánica (anódica):** Usa ánodos sacrificiales (zinc o magnesio) que se oxidan en lugar de la tubería.
- **Protección catódica por corriente impresa:** Aplica una corriente eléctrica externa controlada para contrarrestar el proceso de oxidación del acero. Es más eficaz para redes de gran longitud o condiciones altamente corrosivas.

-Control de la Composición del Gas Natural

El gas natural puede contener compuestos corrosivos como H_2O , CO_2 y H_2S , que aceleran la corrosión interna:

- **Deshidratación y filtrado del gas:** El uso de deshidratadores y sistemas de purificación permite reducir la humedad y eliminar impurezas ácidas, disminuyendo el riesgo de corrosión ácida en el interior de las tuberías.

-Monitoreo de Condiciones Ambientales

La evaluación continua del entorno ayuda a prevenir la activación de mecanismos de corrosión:

- **Sensores de humedad y temperatura:** Instalar estos sensores en zonas críticas permite detectar condiciones que favorecen la corrosión.
- **Monitoreo de la línea de fluido:** Sistemas en línea que analizan la composición química y condiciones del gas transportado, detectando agentes corrosivos.

- Métodos para el Estudio y Control de la Curva de Corrosión

Para obtener datos de control y realizar un estudio detallado de la corrosión en las tuberías de acero al carbono, se deben implementar los siguientes métodos de análisis:

• Pruebas de Corrosión en Laboratorio

Pérdida de peso: Se cuantifica la masa perdida en probetas metálicas expuestas al medio corrosivo, permitiendo calcular la tasa de corrosión.

Ensayos electroquímicos: Técnicas como la polarización lineal y la espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS) permiten caracterizar el comportamiento electroquímico sin alterar la infraestructura.

-Monitoreo de Corrosión en Tiempo Real

- **Sensores de corrosión:** Dispositivos que miden la tasa de corrosión mediante variaciones en la resistencia eléctrica del metal.
- **Electrodos de referencia:** Evalúan la intensidad de la corriente de corrosión, proporcionando datos precisos sobre el potencial de corrosión en ubicaciones específicas.

-Inspección Visual y Ultrasonido

- **Inspección visual:** Permite identificar daños superficiales, aunque limitada a áreas accesibles.
- **Ultrasonido:** Técnica no destructiva para medir el espesor de la pared de la tubería y detectar pérdida de material o corrosión localizada.

-Modelos y Simulación de Corrosión

El desarrollo de modelos matemáticos y simulaciones computacionales facilita la predicción de la evolución de la corrosión en función de parámetros como humedad, temperatura, composición del gas y presión interna. Estos modelos permiten planificar acciones preventivas y optimizar los intervalos de mantenimiento.

-Obtención de Datos Control y Estudio

Para realizar un control efectivo de la corrosión y recopilar datos útiles para su estudio, es crucial implementar un sistema de gestión de datos que permita organizar y analizar la información recopilada. Esto incluye:

Establecimiento de puntos de monitoreo: Ubicados en zonas críticas de la red, como uniones, codos, y puntos bajos.

Recolección periódica de datos: Los sensores deben ser revisados regularmente para obtener una base de datos robusta y detectar tendencias.

Análisis de datos históricos: Comparar los datos actuales con registros anteriores permite evaluar la progresión de la corrosión y determinar acciones correctivas oportunas.

-Resumen

El control de la curva de corrosión en tuberías de acero al carbono tipo SCH 40 de 4" (6.02 mm) para gas natural debe ser un proceso continuo e integral que combine recubrimientos protectores, protección catódica, monitoreo constante de condiciones operativas y un análisis regular de datos de corrosión. La implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real, junto con métodos de inspección avanzados como ultrasonido y sensores de corrosión, permite una evaluación precisa y un control efectivo, prolongando la vida útil de la infraestructura y garantizando la seguridad del sistema de gas natural.

-Caracterización de la Tubería de Cobre Tipo L de 2" (1.78mm) aplicado para conducción de gas natural (GN).

El control de la progresión de la corrosión en tuberías de cobre tipo L de 2" (espesor de 1.78 mm), utilizadas para transportar gas natural (GN), es esencial para asegurar el

funcionamiento seguro y eficiente de las instalaciones a largo plazo. Aunque el cobre posee una alta resistencia natural frente a la corrosión, es importante aplicar métodos de supervisión y prevención que garanticen la integridad de las tuberías y la continuidad del servicio. A continuación, se detallan las principales estrategias para mitigar la corrosión en este tipo de tubería, así como los procedimientos para obtener información útil para su análisis y control.

- Material: Cobre

Composición: Esta tubería está constituida por cobre de alta pureza, reconocido por su excelente comportamiento mecánico, elevada conductividad térmica y notable resistencia a la corrosión. Usualmente se emplea cobre de las aleaciones C12000 o C12200, ampliamente utilizadas en sistemas de transporte de gas y agua.

Resistencia a la Corrosión: El cobre presenta una resistencia natural a la corrosión, especialmente en ambientes secos. Esta propiedad resulta beneficiosa en instalaciones de gas natural, ya que no requiere recubrimientos protectores adicionales como sucede con el acero al carbono. Sin embargo, bajo condiciones agresivas o en presencia de ciertos contaminantes, puede ser vulnerable a ciertos tipos de ataque, aunque esto es poco frecuente en entornos típicos de gas natural.

- Normas y Códigos de Diseño.

Las tuberías de cobre tipo L cumplen con la norma ASTM B88, la cual establece los parámetros técnicos y requisitos de fabricación para sistemas de agua y gas.

Normas de Seguridad: Para su aplicación en redes de gas natural, estas tuberías están reguladas por normas estrictas como el ASME B31.8, que establece los lineamientos para diseño, montaje y operación de sistemas de conducción de gas.

- Características de la Tubería de Cobre Tipo L

Espesor de Pared (1.78 mm): Este espesor se sitúa en un rango medio entre las series tipo K (mayor espesor) y tipo M (menor espesor), otorgando una resistencia a la presión adecuada sin incrementar excesivamente el peso ni dificultar la manipulación.

Diámetro Exterior: El diámetro nominal es de 2 pulgadas (aproximadamente 50.8 mm), y considerando el espesor, el diámetro exterior resulta en cerca de 54.56 mm.

Resistencia a la Presión: Con 1.78 mm de espesor, estas tuberías soportan presiones moderadas, típicas en redes de gas natural. Aunque su capacidad es menor respecto al acero, son completamente aptas para aplicaciones en zonas residenciales o comerciales.

- Resistencia Mecánica

Resistencia a la Tracción: El cobre posee una resistencia mecánica suficiente para tolerar presiones internas sin fallas estructurales, lo que lo convierte en un material durable y confiable para la distribución de gas.

Ductilidad y Flexibilidad: Gracias a su maleabilidad, las tuberías pueden doblarse fácilmente durante la instalación, lo cual facilita su adaptación a terrenos irregulares y diseños con múltiples trayectos.

- Aplicación en Gas Natural.

Propósito: Estas tuberías se emplean principalmente en sistemas de distribución interna de gas natural, tanto en viviendas como en instalaciones comerciales, aprovechando su resistencia a la corrosión y su facilidad de instalación.

Tamaño Adecuado: El diámetro de 2" es adecuado para garantizar un flujo suficiente de gas a presiones comunes en instalaciones domiciliarias o comerciales.

Condiciones de Operación: El gas natural es transportado usualmente a temperatura ambiente y presiones medias, condiciones compatibles con las propiedades del cobre tipo L.

- Ventajas de la Tubería de Cobre Tipo L

Resistencia a la Corrosión: El cobre presenta una alta resistencia a los procesos corrosivos, lo cual prolonga la vida útil del sistema sin necesidad de mantenimiento frecuente.

Fácil Instalación: Su bajo peso y flexibilidad simplifican la instalación, reduciendo tiempos y costos asociados a mano de obra.

No Requiere Recubrimiento: A diferencia del acero al carbono, estas tuberías no requieren protección adicional, lo que implica menos costos y menor complejidad operativa.

- Consideraciones Adicionales

Instalación y Conexiones: Las conexiones pueden realizarse mediante soldadura blanda o con acoplamientos mecánicos, permitiendo ajustes o modificaciones sencillas en obra.

Temperatura: Aunque el cobre tolera un amplio rango térmico, no es recomendable en aplicaciones que superen los 200 °C, lo cual no representa una limitación en conducción de gas natural.

Compatibilidad: El cobre se integra bien con otros metales utilizados en sistemas de gas, como el acero inoxidable o el bronce, facilitando la conexión con otros tramos o accesorios.

- Mantenimiento.

Aunque es poco común, en entornos con presencia elevada de compuestos químicos agresivos, el cobre podría degradarse con el tiempo. Por ello, es aconsejable realizar revisiones periódicas para detectar posibles deterioros en la red.

-Resumen

La tubería de cobre tipo L de 2" y espesor de 1.78 mm representa una solución confiable y eficiente para sistemas de distribución de gas natural en ambientes residenciales y comerciales. Su resistencia a la corrosión, facilidad de instalación, flexibilidad y durabilidad la convierten en una excelente elección para sistemas que requieren operación segura y de bajo mantenimiento. Sin embargo, su capacidad de soportar presión es inferior a la del acero, por lo que su uso se recomienda en redes de presión baja a media.

-Mecanismos de control de la curva de corrosión de la Tubería de Cobre Tipo L de 2" (1.78mm) aplicado para conducción de gas natural (GN). para la obtención de los datos control y estudio.

Implementar un control eficaz de la curva de corrosión en tuberías de cobre tipo L es esencial para preservar la integridad del sistema y asegurar su rendimiento a largo plazo. Si bien el cobre es resistente a la corrosión, es fundamental aplicar estrategias que garanticen su durabilidad y seguridad operativa.

-Mecanismos de Control de la Curva de Corrosión en Tubería de Cobre Tipo L

El gas natural puede contener impurezas como vapor de agua, dióxido de carbono (CO_2), ácido sulfhídrico (H_2S) o cloruros, que en determinadas condiciones podrían iniciar procesos de corrosión. Las siguientes medidas ayudan a mitigar esos riesgos:

-Control de Impurezas del Gas Natural

- **Deshidratación del Gas Natural:** Es crucial eliminar la humedad presente en el gas antes de que ingrese a la red de cobre, ya que el agua favorece los procesos corrosivos. Para ello se emplean secadores o agentes deshidratantes.
- **Eliminación de Ácidos:** Compuestos como CO_2 y H_2S pueden generar reacciones químicas corrosivas al entrar en contacto con el cobre. Por eso, se utilizan separadores y filtros para eliminarlos del flujo gaseoso.

-Recubrimientos Protectores

- **Recubrimientos de Resinas Epóxicas o Pinturas Especializadas:** Aunque el cobre es naturalmente resistente a la corrosión en ambientes secos, en sistemas de gas natural

donde puedan presentarse variaciones de temperatura y humedad, se recomienda aplicar recubrimientos epóxicos o pinturas especializadas. Estas capas actúan como barreras adicionales que minimizan la interacción entre el gas y la superficie metálica, reduciendo el riesgo de corrosión en condiciones operativas exigentes.

- **Recubrimientos con Capa de Estaño o Zinc:** En entornos particularmente agresivos, se pueden emplear recubrimientos delgados de estaño o zinc sobre la superficie del cobre. Estos metales, por su naturaleza electroquímica, ofrecen una protección adicional frente a agentes corrosivos, especialmente cuando se prevé exposición prolongada a condiciones extremas.

-Análisis y Control de la Composición del Gas Natural

- **Control de Humedad y Compuestos Corrosivos:** Es fundamental monitorear continuamente los niveles de humedad y la presencia de compuestos corrosivos como CO_2 y H_2S en el gas natural. El exceso de estos contaminantes puede acelerar los procesos de degradación del cobre, por lo que su control forma parte esencial del diseño de sistemas seguros y duraderos.
- **Purificación del Gas:** En puntos estratégicos del sistema, se recomienda la implementación de tecnologías de purificación que remuevan eficientemente contaminantes del gas antes de que este entre en contacto con la red de cobre, extendiendo así la vida útil de las tuberías.

-Protección Catódica (Menos Común en Cobre)

Aunque no es una técnica habitual en cobre debido a su resistencia inherente, en ciertos casos específicos, como ambientes con alta agresividad química o humedad sostenida, puede considerarse la protección catódica por medio de ánodos galvánicos. Esta técnica es más común en sistemas de acero, pero se puede aplicar en cobre como medida complementaria.

-Inspección y Mantenimiento Periódico

- **Inspecciones Visuales Regulares:** La inspección regular de la red, especialmente en uniones, codos y puntos de acceso, permite identificar tempranamente indicios de corrosión superficial o deterioro de recubrimientos protectores, facilitando acciones correctivas oportunas.
- **Mantenimiento Preventivo:** Debe establecerse un programa de mantenimiento planificado que incluya la verificación del estado de los recubrimientos, el reemplazo de partes comprometidas y la revisión de los equipos de deshidratación y filtrado del gas natural.

-Obtención de Datos de Control y Estudio

Evaluar la velocidad de corrosión a lo largo del tiempo es esencial para anticipar fallas y optimizar los planes de mantenimiento. Esto requiere la recolección sistemática de datos desde el inicio de la operación.

- Métodos de Monitoreo de Corrosión

- **Sensores de Corrosión Integrados:** Se pueden instalar sensores en puntos estratégicos del sistema para medir en tiempo real la tasa de corrosión, evaluando la pérdida de espesor metálico o la variación de la resistencia eléctrica provocada por procesos corrosivos.
- **Pruebas Electroquímicas:** Pruebas como la polarización lineal o la espectroscopía de impedancia electroquímica permiten estimar la velocidad de corrosión sin necesidad de retirar las tuberías. Estos métodos proporcionan datos precisos sobre la interacción entre el gas y el material conductor.
- **Medición de Espesor de Pared (Ultrasonido):** La inspección ultrasónica permite conocer el grosor de las paredes de las tuberías a lo largo del tiempo, detectando pérdidas metálicas por corrosión interna o externa de forma no invasiva.
- **Corrosión en la Línea de Fluido:** El análisis de la composición del gas transportado es clave para detectar acumulaciones de CO₂, H₂S o humedad que puedan provocar corrosión localizada o acelerada, especialmente en zonas de baja circulación.

-Inspección Visual y Métodos No Destructivos

- **Inspección Visual:** La observación directa en puntos críticos permite detectar signos de corrosión, agrietamiento o pérdida de recubrimiento, facilitando una respuesta inmediata.
- **Métodos No Destructivos (NDT):** Métodos como la radiografía industrial o las pruebas por corrientes de Eddy permiten identificar zonas debilitadas sin interrumpir el funcionamiento del sistema ni comprometer la estructura del ducto.

-Recolección de Datos y Análisis

- **Sistema de Monitoreo Remoto:** La incorporación de sensores conectados a plataformas de monitoreo remoto permite obtener datos en tiempo real sobre temperatura,

humedad, composición del gas y tasas de corrosión. Esta información se centraliza para su análisis posterior.

- **Base de Datos de Inspección:** Consolidar la información obtenida a lo largo del tiempo en una base de datos estructurada permite trazar tendencias, comparar resultados entre sectores de la red y tomar decisiones informadas sobre mantenimiento, reemplazo o rediseño de secciones comprometidas.

-Modelos Predictivos de Corrosión

- **Simulaciones Computacionales:** La utilización de modelos matemáticos permite predecir el comportamiento futuro de la corrosión en función de variables como temperatura, presión, humedad y contenido de contaminantes. Estas simulaciones son herramientas clave para planificar intervenciones anticipadas.
- **Análisis de Datos Históricos:** La comparación entre datos históricos y condiciones actuales permite validar modelos predictivos y ajustar estrategias de protección. También facilita la identificación de sectores de mayor riesgo y el diseño de soluciones focalizadas.

-Resumen de Estrategias y Métodos

El control eficaz de la corrosión en tuberías de cobre tipo L para gas natural requiere una combinación de medidas preventivas y herramientas tecnológicas, tales como:

- Monitoreo y control de impurezas como CO_2 y H_2S .
 - Aplicación de recubrimientos protectores en condiciones agresivas.
 - Evaluación constante de la integridad estructural mediante sensores y ensayos no destructivos.
 - Recolección de datos y mantenimiento de bases de información para análisis longitudinal.
 - Uso de modelos predictivos para anticipar problemas y planificar mantenimientos.
- Estas estrategias no solo mejoran la seguridad del sistema, sino que permiten extender la vida útil de la infraestructura y optimizar costos operativos.

-Fórmulas matemáticas de velocidad de corrosión aplicados en control de datos para tuberías de acero y cobre aplicados en GN

La **velocidad de corrosión (VC)** es un parámetro clave para evaluar la integridad de las tuberías en sistemas de gas natural. Se expresa generalmente en milímetros por año (mm/año) y puede calcularse mediante diversas técnicas. Algunas fórmulas comunes incluyen:

-Fórmula General para la Velocidad de Corrosión por pérdida de masa (Vc)

La fórmula más comúnmente utilizada para calcular la velocidad de corrosión es la que se basa en la pérdida de peso (también conocida como método gravimétrico), y se expresa como:

$$V_c = K \cdot W / A \cdot t \cdot \rho$$

Donde:

- V_c = Velocidad de corrosión (mm/año)
- W = Pérdida de peso de la muestra (g)
- A = Área de la muestra expuesta a la corrosión (cm²)
- t = Tiempo de exposición (horas o días)
- ρ = Densidad del material (g/cm³)
- K = Factor de conversión (dependiendo de las unidades de medida)

Notas:

- K es un factor de conversión que depende de las unidades utilizadas. Por ejemplo, para calcular la velocidad en mm/año cuando se mide la pérdida de peso en gramos y el tiempo en días, el valor de K sería aproximadamente 8.76×10^4 para acero y 8.91×10^4 para cobre.

- Fórmula para la Velocidad de Corrosión en Tuberías de Acero

En el caso del acero al carbono, la velocidad de corrosión también puede estimarse a partir de la ecuación de tasa de corrosión basada en la corriente de corrosión medida mediante técnicas electroquímicas, como la polarización lineal:

$$V_c = I \cdot M / n \cdot F \cdot A$$

Donde:

- V_c = Velocidad de corrosión (mm/año)
- I = Corriente de corrosión medida (A)
- M = Masa molar del metal (g/mol)
- n = Número de electrones involucrados en la reacción de corrosión (para el hierro $n=2$)
- F = Constante de Faraday (96485 C/mol)
- A = Área de la muestra (cm²)

- Fórmula para la Velocidad de Corrosión en Tuberías de Cobre

Para el cobre, la velocidad de corrosión se puede estimar de manera similar a la fórmula del acero, pero teniendo en cuenta que la masa molar del cobre es diferente:

$$V_c = I \cdot M_{Cu} / n_{Cu} \cdot F \cdot A$$

Donde:

- M_{Cu} = Masa molar del cobre (63.5 g/mol)
- n_{Cu} = Número de electrones involucrados en la reacción de corrosión del cobre (para el cobre $n=2$)

-Fórmula de Tasa de Corrosión en Milímetros por Año (mpy)

Una de las formas más comunes de cuantificar la velocidad de corrosión es utilizando milímetros por año (mm/año o *mpy*). Este valor se determina aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Tasa de corrosión (mpy)} = 87.6 \cdot W / d \cdot A \cdot t$$

Donde:

- W : de masa del material (g)
- d : densidad del material (g/cm³)
- A : área de la muestra expuesta (cm²)
- t : tiempo de exposición (horas o días)

-Fórmula de Corrosión Usando Métodos de Corrientes de Eddy (para Acero)

El uso de corrientes de Eddy constituye una técnica avanzada de monitoreo no invasivo, útil en aplicaciones industriales para evaluar la corrosión sin necesidad de retirar secciones del sistema. La velocidad de corrosión se calcula mediante:

$$V_c = \Delta R / K_{\text{Eddy}} \cdot t$$

Donde:

- ΔR : variación en la resistencia eléctrica del material debido a la corrosión
- K_{Eddy} : factor de calibración específico del método
- t : tiempo de exposición (h)

Este método es más utilizado en sistemas de monitoreo continuo y permite evaluar la corrosión sin necesidad de extracción de muestras.

- Cálculo de la Velocidad de Corrosión Utilizando el Método de Polarización Electroquímica

La polarización lineal es una técnica electroquímica ampliamente usada en laboratorio para estimar con precisión la velocidad de corrosión, basada en la corriente de corrosión (I_{corr}). La fórmula general es:

$$V_c = I_{corr} \times M/n \times F \times \rho$$

Donde:

- I_{corr} = Densidad de corriente de corrosión (A/cm^2)
- M = Masa molar del material (g/mol)
- n = Número de electrones involucrados (para el hierro $n=2$, para el cobre $n=2$)
- F = Constante de Faraday (96485 C/mol)
- ρ = Densidad del material (g/cm^3)

Este método requiere instrumentación electroquímica especializada y permite obtener resultados precisos bajo condiciones controladas.

- Cálculo de la Vida Útil Estimada Basada en la Velocidad de Corrosión

Conociendo la velocidad de corrosión, se puede proyectar la vida útil de una tubería mediante:

$$Vida\ útil = Espesor\ inicial / V_{corr}$$

Donde:

- E_0 - Espesor de la tubería es el grosor inicial de la tubería (en mm).
- V_c - es la velocidad de corrosión (en mm/año).

Este cálculo permite planificar mantenimientos predictivos o reemplazos.

-Resumen de Fórmulas

Velocidad de corrosión general (pérdida de peso):

$$V_c = K \cdot W / A \cdot t \cdot \rho$$

Donde:

- v_c = Velocidad de corrosión (en mm/año)
- K = Constante de conversión (dependiendo de las unidades de la fórmula; si se usa mm/año mm/año mm/año,
- $K = 8.76 \times 10^3$
- W = Pérdida de peso del material (en gramos)
- A = Área de la muestra expuesta a la corrosión (en cm^2)
- t = Tiempo de exposición a la corrosión (en horas)
- ρ = Densidad del material (en g/cm^3)

-Velocidad de corrosión (corriente de corrosión):

Este método es ideal para medir corrosión en tiempo real utilizando dispositivos electroquímicos. Se basa en la corriente generada por la reacción redox del metal en contacto con su entorno.

Fórmula para calcular la velocidad de corrosión usando la corriente de corrosión:

$$V_c = I_{\text{corr}} \times M / n \times F \times \rho$$

Donde:

- v_c = Velocidad de corrosión (en **mm/año**).
- I_{corr} = Corriente de corrosión (en **amperios (A)**).
- M = Masa molar del material (en **g/mol**).

- **n** = Número de electrones transferidos en la reacción de corrosión (un valor específico dependiendo del metal; para el hierro, $n=2$, y para el cobre, $n=2$).
- **F** = Constante de Faraday (en **C/mol**), cuyo valor es 96485 C/mol.
- **ρ** = Densidad del material (en **g/cm³**).

▪ **Pasos para calcular la velocidad de corrosión con la corriente de corrosión:**

-**Medir la corriente de corrosión (I_{corr}):** Esto se hace utilizando **celdas de prueba** o **medidores electroquímicos** que permiten medir la corriente asociada con la reacción de corrosión. La corriente es proporcional a la tasa de corrosión.

-**Obtener la masa molar (M):** Este valor depende del material del que esté hecha la tubería. Por ejemplo:

- Para **acero** (principalmente hierro, Fe): $M=55.845$ g/mol.
- Para **cobre (Cu)**: $M=63.546$ g/mol.

-**Determinar el número de electrones transferidos (n):** Este valor es el número de electrones involucrados en la reacción de corrosión. Para la mayoría de los metales, $n=2$, lo que significa que dos electrones son transferidos durante la reacción de oxidación.

-**Conocer la densidad del material (ρ):** La densidad es un parámetro importante para calcular la cantidad de material perdido debido a la corrosión. Ejemplo:

- Para **acero**: $\rho_{acero} \approx 7.85$ g/cm³
- Para **cobre**: $\rho_{cobre} \approx 8.96$ g/cm³

-**Aplicar la fórmula:** Sustituir todos los valores en la fórmula para obtener la velocidad de corrosión en **mm/año**.

- **Ejemplo de cálculo de la velocidad de corrosión utilizando corriente:**

Imaginemos que estamos midiendo la corrosión en una tubería de acero. Se obtiene la siguiente información:

- La corriente de corrosión medida es **$I_{corr}=1.5 \times 10^{-3}$ A.**
- La masa molar del acero es **$M=55.845$ g/mol**
- El número de electrones en la reacción de corrosión para el hierro es **$n=2$.**
- La constante de Faraday es **$F=96485$ C/mol.**
- La densidad del acero es **$\rho=7.85$ g/cm³**

Sustituimos estos valores en la fórmula:

$$v_c = (1.5 \times 10^{-3} \text{ A}) \times 55.845 \text{ g/mol} / 2 \times 96485 \text{ C/mol} \times 7.85 \text{ g/cm}^3$$

Vamos a realizar el cálculo:

$$v_c = (1.5 \times 10^{-3}) \times 55.845 / 2 \times 96485 \times 7.85$$

$$v_c = 0.083768 / 1512965.5 \approx 5.54 \times 10^{-8} \text{ mm/s}$$

Este resultado indica la velocidad de corrosión en **milímetros por segundo**. Para convertirlo a **milímetros por año**, multiplicamos por el número de segundos en un año (**31,536,000 segundos**):

$$v_c = 5.54 \times 10^{-8} \text{ mm/s} \times 31,536,000 \text{ s/año}$$

$$v_c \approx 1.75 \text{ mm/año}$$

Esto significa que la **velocidad de corrosión** de la tubería de acero es de aproximadamente **1.75 mm/año**.

Consideraciones adicionales:

- **Monitoreo continuo:** Es importante realizar mediciones continuas de la corriente de corrosión para obtener datos más precisos y actualizados sobre la corrosión en tiempo real.
- **Técnicas de protección:** En muchos casos, se utilizan métodos de protección como **protección catódica**, recubrimientos anticorrosivos o modificaciones en las

condiciones operativas (como la reducción de la humedad o el CO₂) para disminuir la velocidad de corrosión.

Este enfoque permite tener una **estimación precisa** de la **velocidad de corrosión** en tiempo real, lo que es fundamental para implementar estrategias de mantenimiento y prevención en las tuberías de acero o cobre.

2.5. Procedimiento experimental

Se llevó a cabo un estudio experimental utilizando probetas obtenidas de dos tipos de tuberías comúnmente empleadas en instalaciones de gas natural:

- Tuberías de **acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4"**, con un espesor de 6.02 mm.
- Tuberías de **cobre tipo L de 2"**, con un espesor de 1.78 mm.

Estas muestras fueron tomadas de instalaciones reales del Hospital Edgardo Rebagliati Martins, ubicado en el distrito de Jesús María, Lima.

- i. El análisis se desarrolló con fines comparativos entre las condiciones iniciales y finales del proceso, es decir, a través de pruebas tipo *Pre-Test* y *Post-Test*. Los indicadores evaluados fueron los siguientes:
- ii. **Pérdida de masa de las probetas:**
Se determinó el peso inicial y final de las muestras de cobre y acero al carbono, permitiendo cuantificar la pérdida de masa atribuible al proceso de corrosión.
- iii. **Velocidad de corrosión (mm/año):**
A partir de la pérdida de masa, se calculó la tasa de corrosión para cada tipo de material, expresada en milímetros por año, utilizando las fórmulas normalizadas para este tipo de análisis.
- iv. **Área de exposición (cm²):**
Se midió el área superficial expuesta de cada probeta, lo cual es un parámetro clave para el cálculo de la velocidad de corrosión y para estandarizar la comparación entre materiales de diferente geometría.

Este procedimiento experimental fue diseñado para evaluar y comparar el comportamiento frente a la corrosión de ambos materiales bajo condiciones similares de exposición, y contribuir así al análisis técnico de su desempeño en instalaciones de gas natural en ambientes hospitalarios.

Ubicación de la Facultad de Ingeniería de Minas y Metalurgia Nasca, lugar de tratamiento de la muestra de tubería de cobre de tipo L de 2" (1.78 mm) y Acero al carbono SCH40 DE 4" (6.02mm).

-Ubicación de probetas en laboratorio FIMM.

-Coordenadas centroide UTM –WGS84

-Este: 507527

-Norte: 8360917



Figura 14. Vista de la facultad de Minas y Metalurgia Nasca.

Población:

Hospital Edgardo Rebagliati Martins Jesús María -Lima es el lugar donde se ubican las tuberías a analizar conformadas por dos tipos de tuberías de acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y de cobre tipo L de 2" (1.78 mm) de conducción de Gas Natural.

Población de tuberías de cobre y acero de conducción de Gas Natural Hospital

-Coordenadas centroide UTM –WGS84

-Este: 277846.20

-Norte: 8664017.55



Figura 15. Hospital Edgardo Rebagliati Martins Jesús María -Lima.

- **Población**

“La Población es la totalidad de unidades de análisis del conjunto a estudiar, así como también es el conjunto de individuos, objetos, elementos o fenómenos en los cuales puede presentarse determinada característica susceptible de ser estudiada” (Beatriz, n.d, p.2).

- **Muestra**

De acuerdo con Kinneer y Taylor (1993), en un **muestreo probabilístico** cada elemento de la población tiene una probabilidad conocida de ser seleccionado, mientras que, en el **no probabilístico**, la selección depende parcialmente del criterio del investigador.

-Muestra Pre Test

La muestra pre-test se compone de probetas de ambos tipos de tuberías (acero al carbono y cobre), en su condición original de servicio, recolectadas directamente del sistema de conducción de gas natural del Hospital Rebagliati. El objetivo es analizar su estado inicial y establecer una línea base para comparar los niveles de corrosión, vida útil y comportamiento metalúrgico mediante curvas de Tafel y análisis estadístico en SPSS IBM.

- Muestra Post Test

La muestra Post-Test estará conformado por el número de mediciones de los indicadores del proceso de análisis de la corrosión en este caso será la Velocidad de corrosión (V_{corr}) de los dos tipos de tuberías de acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4” (6.02 mm) y de cobre tipo L de 2” (1.78 mm) de conducción de Gas Natural el resultado determinará su rango nivel comparativo en la vida útil de la tuberías y así tener su evaluación a través de la curva de Tafel y su análisis estadístico en el SPSS IBM.

- **Variable Dependiente 1: Nivel de Velocidad de Corrosión tuberías de Fierro y cobre**

$$V_c = \Delta m / A \cdot t \cdot \rho$$

-Población

La población está conformado por el número de toma de registros de la V_{corr} de los dos tipos de tuberías de acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4” (6.02 mm) y de cobre tipo L de 2” (1.78 mm) de conducción de Gas Natural del Hospital Edgardo Rebagliati Martins de Jesús María Lima, así mismo el resultado determinará su rango nivel comparativo en la vida útil de la tuberías y así tener su evaluación a través de la curva de Tafel y su análisis estadístico en el SPSS IBM se señala que los ensayos se realizaron en el mes de diciembre del 2024 y finalizo en enero del 2025..

- Muestra

La muestra estará conformado por 60 registro de la Velocidad de corrosión de los dos tipos de tuberías de acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y de cobre tipo L de 2" (1.78 mm) de conducción de Gas Natural del Hospital Edgardo Rebagliati Martins de Jesús María Lima luego el resultado determinará su rango nivel comparativo en la vida útil de la tuberías y así tener su evaluación a través de la curva de Tafel y su análisis estadístico en el SPSS IBM se indica que los ensayos de laboratorio se realizaron las mismas fechas ya indicadas que fueron del 06 Diciembre del 2024 y finalizo el 07 de Enero del 2025..

• **Variable Dependiente 2: Nivel de control de peso por corrosión de las tuberías de Fierro y cobre.**

$$\Delta m = m_1 - m_2$$

-Población

La población está conformado por el número de toma de registros de control de peso de los dos tipos de tuberías de acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y de cobre tipo L de 2" (1.78 mm) de conducción de Gas Natural del Hospital Edgardo Rebagliati Martins de Jesús María Lima, así mismo el resultado determinará su rango nivel comparativo en la vida útil de la tuberías y así tener su evaluación a través de la curva de Tafel y su análisis estadístico en el SPSS IBM se señala que los ensayos se realizaron en el mes de 10 de Enero del 2025 y finalizo 28 de Enero del 2025..

- Muestra

La muestra estará conformado por 60 registro de control de peso de los dos tipos de tuberías de acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y de cobre tipo L de 2" (1.78 mm) de conducción de Gas Natural del Hospital Edgardo Rebagliati Martins de Jesús María Lima, luego el resultado determinará su rango nivel comparativo en la vida útil de la tuberías y así tener su evaluación a través de la curva de Tafel y su análisis estadístico en el SPSS IBM se señala que los ensayos se realizaron en el mes de 10 de Enero del 2025 y finalizo 28 de Enero del 2025..

• **Variable Dependiente 3: Nivel de volumen de las tuberías de fierro y de cobre**

$$\Delta V = \Delta m / \rho$$

-Población

La población está conformado por el número de toma de registros de control de niveles de volumen de los dos tipos de tuberías de acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y de cobre tipo L de 2" (1.78 mm) de conducción de Gas Natural del Hospital Edgardo Rebagliati Martins de Jesús María Lima, así mismo el resultado determinará su rango nivel

comparativo en la vida útil de la tuberías y así tener su evaluación a través de la curva de Tafel y su análisis estadístico en el SPSS IBM se señala que los ensayos se realizaron el 12 de Enero del 2025 y finalizo en Febrero del 2025..

- Muestra

La muestra estará conformado por 60 registro de los niveles de volúmenes de los dos tipos de tuberías de acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y de cobre tipo L de 2" (1.78 mm) de conducción de Gas Natural del Hospital Edgardo Rebagliati Martins de Jesús María Lima luego el resultado determinará su rango nivel comparativo en la vida útil de la tuberías y así tener su evaluación a través de la curva de Tafel y su análisis estadístico en el SPSS IBM se indica que los ensayos de laboratorio se realizaron las mismas fechas ya indicadas se señala que los ensayos se realizaron el 12 de Enero del 2025 y finalizo en Febrero del 2025.

Tabla 02.- Operacionalización de Variables de Investigación Vcorr.

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Análisis comparativo de resistencia a la corrosión de las tuberías de conducción de Acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y cobre tipo L de 2" (1.78 mm)	Es el estudio que se desarrollara al comparar la corrosión de los dos tubos de Acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y cobre tipo L de 2" (1.78 mm) controlando peso y volumen y el nivel de corrosión por curva de Tafel.	1. Química 2. Física 3. Cuantitativa	1. Aspectos químicos de la corrosión 2. Aspectos físicos del cuerpo de la tubería metálica de Acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y cobre tipo L de 2" (1.78 mm) 3. Números de muestras y de valores de los parámetros a realizar
VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Aplicados en la instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins del	Medidas de seguridad en el trabajo y control de la corrosión con pintura	1. Cualitativo 2. Cuantitativo	1. tipos de corrosión de los tubos Icorr, Vcorr, Peso 2. Niveles de corrosión por año

Distrito de Jesús María	epóxica y de fugas de gas 3.	Factor 3. Aspectos ambientales de corrosión
Lima.	natural en las tuberías.	Ambiental de como la temperatura, ambientes corrosión corrosivos y la erosión.

2.5 Procedimiento experimental

Los ensayos de laboratorio se realizaron empleando una **balanza analítica** y un **potenciostato (corrosímetro)** para la obtención de datos cuantitativos. La fase experimental consistió en la exposición de las probetas a una solución electrolítica de **ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0.1 M**, utilizando un sistema de celdas electroquímicas con:

- **Electrodo de referencia:** Plata/Cloruro de plata (Ag/AgCl).
- **Electrodo de trabajo (ánodo):** La probeta del metal a ensayar.
- **Electrodo auxiliar (cátodo):** Material conductor inerte.
- **Corriente aplicada:** 0.002 miliamperios (2 mA).

Se realizaron **60 pruebas** individuales por tipo de material (acero al carbono y cobre), siguiendo el protocolo de ensayos basado en la **norma ASTM G102**, que estandariza el procedimiento para la estimación de la velocidad de corrosión mediante técnicas electroquímicas.

Durante y al finalizar cada ensayo, se registraron medidas de **área expuesta (en micras)** y **peso (en miligramos)** para cada probeta. Estos datos permitieron evaluar la pérdida de material debido a la corrosión. Los resultados corroboran que, con el tiempo, tanto la masa como el espesor de las paredes internas y externas de las tuberías disminuyen, lo que justifica la implementación de programas de **mantenimiento preventivo y correctivo cada 3 a 4 años**, especialmente considerando la conducción de **gas natural (GN)** en ambientes hospitalarios críticos como el **Hospital Edgardo Rebagliati Martins**.

Efectos de la velocidad de Corrosión en la tubería a ensayar

Los estudios a realizar de la velocidad de corrosión de las dos probetas la primera es de un tubo de 100 cm² de área a exponer de Acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y la segunda probeta a analizar es de un tubo de 100 cm² de área a exponer de Cobre tipo L de 2" (1.78 mm) cabe indicar que los tubos se afectan con el tiempo disminuyendo su área y su peso esto quiere decir que las paredes internas y externas de las tuberías a ensayar disminuirán esto se demuestra en los estudios de laboratorio es por tal motivo es importante realizar los mantenimientos del tipo preventivo y correctivo de las tuberías a utilizar cada tres a cuatro años esto debido a que se transporta Gas Natural (GN) a los interiores del Hospital Edgardo Rebagliati Martins de Jesús María Lima.

2.2.4. Evaluación de los parámetros de investigación de la V_{corr}

Análisis de la velocidad de corrosión para probeta tubería de área al carbono tipo SCH40 de 4" (6.02mm) área de exposición de 100 cm² para análisis con electrodos aplicando 0.002 miliamperios

El cálculo de la velocidad de corrosión utilizando corriente eléctrica se basa en el principio de la ley de Faraday, que describe la relación entre la cantidad de material que se corroe y la cantidad de carga eléctrica que pasa a través de una superficie metálica. Este método se utiliza cuando se mide la corriente de corrosión (i.e., corriente eléctrica generada por la corrosión electroquímica) para determinar la velocidad de corrosión del material.

Fórmula general basada en la ley de Faraday:

La velocidad de corrosión (V_{corr}) en unidades de milímetros por año (mm/año) se puede calcular a partir de la corriente de corrosión medida (I_{corr}) usando la siguiente ecuación:

$$V_{corr} = k (I_{corr}/\rho) * M/n$$

Donde:

- V_{corr} = Velocidad de corrosión (mm/año)
- I_{corr} = Corriente de corrosión (A) (amperios)
- M = Masa molar del material (g/mol) (Para el acero al carbono, M≈55.85 g/mol)
- n = Número de electrones intercambiados por átomo del material (Para el hierro, n=2, ya que cada átomo de hierro pierde 2 electrones en la reacción de corrosión)
- A = Área de la superficie expuesta (cm²)

- $F = \text{Constante de Faraday (96485 C/mol)}$ (la carga de un mol de electrones)
- $\rho = \text{Densidad del material (g/cm}^3\text{)}$ (Para el acero al carbono, $\rho \approx 7.85 \text{ g/cm}^3$)

▪ **Ensayo de análisis de V_{corr} de probeta tubo de acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) área 100cm² en laboratorio método potenciostato:**

Resultado Análisis de la probeta de tubería de acero al carbono de 4" (SCH40) con un área expuesta de $A=100 \text{ cm}^2$, se indica que se midió con un potenciostato una corriente de corrosión de $I_{corr}=0.002 \text{ A}$ (2 mA).

Teniendo estos datos se procedió a calcular la velocidad de corrosión de la tubería de acero al carbono.

Datos:

- $M=55.85 \text{ g/mol}$ (masa molar del hierro)
- $n=2$ (número de electrones intercambiados)
- $A=100 \text{ cm}^2$ (área expuesta de la tubería)
- $F=96485 \text{ C/mol}$ (constante de Faraday)
- $\rho=7.85 \text{ g/cm}^3$ (densidad del acero al carbono)
- $I_{corr}=0.002 \text{ A}$ (corriente de corrosión)

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$V_{corr} = 3.27 \times 10^{-3} \cdot \left(\frac{0.002 \text{ miliamp} \times 55.85 \text{ gr. mol}}{2 \# \text{ electrones} \times 7.85 \text{ gr. cm}^3} \right)$$

$$V_{corr} = 3.27 \times 10^{-3} \cdot \left(\frac{0.1117}{15.7} \right)$$

$$V_{corr} = 2.33 \text{ mm/año}$$

Realizando los cálculos:

Velocidad de corrosión diaria:

$$V_{corr} (\text{mm/día}) = \frac{2.33}{365} = 0.00638 \text{ mm/día}$$

Pérdida de peso por año=1.8 gr/año

Convirtiendo la velocidad de corrosión de mm/año (milímetros por año), a mm/día este aspecto a fin de poder realizar la contrastación de las lecturas tomadas se realizó dividiendo entre 365 días estos pasos coincidieron en el laboratorio con el corrosímetro.

Resultado:

El análisis electroquímico de la probeta de acero al carbono tipo SCH40, con una exposición controlada a H_2SO_4 0.1M y monitoreo por potencióstato, indica una velocidad de corrosión de **2.33 mm/año**, valor que refleja una tasa de deterioro considerable en condiciones corrosivas controladas. Esta información es clave para la predicción de la vida útil de las tuberías de acero al carbono en sistemas de transporte de gas natural.

PERDIDA DE AREA POR LA VELOCIDAD DE CORROSION TUBERIA 100 cm2 DE ACERO ALCARBONO SCH40 4" (6.02mm) Metodo Electrico Potenciometro									
Formula general basada en la ley de Faraday (Principios electroquimicos) NORMA ASTM G102									
Formula aplicada $V_{corr} = K * (I_{corr} / \rho) * (M/n)$									
Velocidad de corrosion en mm/Año	Corriente de corrosion I_{corr}	Masa (M) molar del material gr/mol	Numero de electrones intercambia dos $n=2$	Area superficie expuesta cm^2	Constante Faraday C/mol	Densidad del material gr/cm3	Constante K	Peso Equivalente (EW) M/n	
2.33E-05	2.00E-03	55.85	2	100	96485	7.85	3.27E-03	27.925	
Vcorr:									
Convirtiendo a mm/Dia	Numero dias /año								
0.0063835616	365								

Tabla 03.- Datos de perdida de Área por Vcorr tubería Acero Carbono.

Conclusión:

Este valor indica que la pared de la tubería pierde aproximadamente 2.33 mm de espesor cada año debido a la corrosión, lo cual podría comprometer la integridad estructural de la tubería en un periodo largo si no se toman medidas preventivas o correctivas en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins de Jesús María Lima.

El análisis realizado muestra cómo utilizar la **corriente de corrosión** medida para calcular la **velocidad de corrosión** de un material, lo cual es un enfoque comúnmente utilizado en sistemas donde la corrosión se produce por mecanismos electroquímicos.

-Análisis de la velocidad de corrosión V_{corr} para una probeta de tubería de Cobre tipo L de 2" (1.78 mm), de área 100 cm² con una I_{corr} de 0.002 miliamperios obtenido con potenciostato corrosímetro.

El cálculo de la velocidad de corrosión en una tubería de cobre mediante el uso de corriente se puede realizar a través de principios electroquímicos, utilizando la ley de Faraday. En este caso, el proceso está basado en la cantidad de corriente que circula a través del sistema debido a la corrosión del material.

Fórmula básica basada en la ley de Faraday

La velocidad de corrosión en términos de corriente se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$V_{corr} = k \cdot \left(\frac{I_{corr}}{\rho} \times \frac{M}{n} \right)$$

Condiciones del ensayo:

- **Diámetro nominal de la tubería:** 2 pulgadas (50.8 mm)
- **Espesor de pared:** 1.78 mm
- **Área expuesta:** 100 cm²
- **Corriente de corrosión (I_{corr}):** 0.002 A (2 mA)
- **Electrolito:** H₂SO₄ 0.1 M
- **Electrodo de referencia:** Ag/AgCl

Donde:

- **V_{corr} :** Velocidad de corrosión (mm/año)
- **I_{corr} :** Corriente de corrosión (A)
- **M:** Masa molar del cobre ≈ 63.5 g/mol
- **n:** Número de electrones transferidos = 2 ($\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$)
- **ρ :** Densidad del cobre ≈ 8.96 g/cm³
- **k:** Factor de conversión = 3.27×10^{-3}

Sustitución de valores:

$$V_{corr} = 3.27 \times 10^3 \cdot \left(\frac{0.002}{8.96} \times \frac{63.5}{2} \right)$$

$$V_{corr} = 3.27 \times 10^3 \cdot \left(\frac{0.127}{8.96} \right)$$

$$V_{corr} = 2.32 \text{ mm/año}$$

Resultados adicionales:

- **Pérdida de masa estimada:** 2.08 g/año
- **Velocidad de corrosión diaria:**

$$V_{corr} \text{ (mm/día)} = \frac{2.32}{365} = 0.00636 \text{ mm/día}$$

Resultado:

El cálculo de la velocidad de corrosión para la tubería de cobre tipo L (2", 1.78 mm de espesor), bajo condiciones controladas de laboratorio y una corriente de corrosión de 0.002 A, dio como resultado una **velocidad de corrosión de 2.32 mm/año**. Esta tasa de deterioro implica una pérdida continua del espesor de la pared del tubo, por lo que es fundamental implementar medidas de monitoreo continuo y mantenimiento periódico.

Notas importantes:

1. **Variabilidad de la corriente de corrosión:** El valor de 0.002 A fue obtenido bajo condiciones experimentales. En operación real, factores como el pH, temperatura, velocidad del flujo y composición del gas natural pueden modificar significativamente este valor.

2. **Importancia del monitoreo continuo:** Para obtener resultados confiables y proyectar la vida útil del sistema, es necesario mantener una vigilancia electroquímica constante mediante el uso de probetas de monitoreo o sensores de corrosión embebidos en el sistema.

3. **Comparación preliminar:** La velocidad de corrosión del cobre (2.32 mm/año) fue ligeramente inferior a la del acero al carbono (2.33 mm/año), lo que sugiere que ambos materiales presentan una susceptibilidad similar en condiciones ácidas controladas, aunque el comportamiento en campo puede variar.

PERDIDA DE AREA POR VELOCIDAD DE CORROSION DE TUBERIA 100 cm2 DE COBRE TIPO L DE 2" (1.78 mm) ANALISIS METODO ELECTRICO CON POTENCIOSTATO								
Formula general basada en la ley de Faraday (Principios Electroquimicos) NORMA ASTM G102								
Formula aplicada $V_{corr} = K \cdot I_{corr} \cdot p \cdot (M/n)$								
Velocidad de corrosion en mm/Año	Corriente de corrosion I _{corr}	Masa (M) molar del material gr/mol	Numero de electrones intercambia dos n=2	Area superficie expuesta cm2	Constante Faraday C/mol	Densidad del material gr/cm3	Constante K	Peso Equivalente (EW) M/n
2.32E-05	2.00E-03	63.5	2	100	96485	8.96	3.27E-03	31.75
V _{corr} :								
Convirtiendo a mm/Dia	Numero dias /año							
0.006356164	365							

Tabla 04.- Datos de perdida de Área por V_{corr} tubería Cobre.

Efectos nivel de Peso por corrosión en la tubería a ensayar

-Análisis del peso de la muestra por motivos de la corrosión V_{corr} del Acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm)

La determinación de la pérdida de peso en una probeta corroída se realizó conforme a los lineamientos de la **Norma ASTM G102**, utilizando la velocidad de corrosión previamente calculada a partir de los ensayos de laboratorio con potencióstato.

Aplicando Formula:

Pérdida de peso (g/año) = V_{corr} x Área expuesta (cm²) x ρ

Pérdida de Peso= 0.002 mA x 100cm² x 7.85g/cm³

Pérdida de Peso= 1.8 gr/año de material de acero al carbono.

- La pérdida estimada de **1.8 gramos por año** evidencia una tasa de corrosión significativa para una tubería de acero al carbono expuesta a ambientes agresivos.
- Esta pérdida implica un deterioro progresivo de las paredes internas y externas de la tubería, comprometiendo su integridad estructural.
- En aplicaciones reales con **gas natural (GN)**, la presencia de **ácido sulfhídrico (H₂S)** y **dióxido de carbono (CO₂)** acelera el proceso corrosivo, ya que ambos gases son altamente corrosivos en presencia de humedad, formando ácidos débiles que atacan la superficie metálica.
- Se recomienda realizar **mantenimientos predictivos y correctivos** cada 3 a 4 años, así como implementar **sistemas de monitoreo continuo de corrosión** en puntos críticos de la red de distribución de GN.

PERDIDA DE PESO POR VELOCIDAD DE CORROSION TUBERIA 100 cm2 DE ACERO AL CARBONO TIPO SCH40 4" (6.02 mm) Metodo Electrico						
Formula aplicada	Perdida Peso=VcorrXAreaXDensidad					
Perdida de masa en gr/año	Corriente de corrosion	Masa molar del material	numero de electrones intercambia dos (n)	Area superficie expuesta cm2	Constante Faraday	Densidad del material
1.83E+03	2.00E-03	55.85	2	100	96485	7.85
masa gr/dia						
0.004932						

Tabla 05.- Datos perdida peso por Vcorr tubería de Acero carbono.

-Análisis del peso de la muestra por motivos de la corrosión Vcorr de la tubería de cobre tipo L de 2" (1.78 mm)

La evaluación de la pérdida de masa del cobre tipo L, expuesto a un medio corrosivo bajo condiciones controladas en laboratorio, se realizó conforme a la **Norma ASTM G102**, considerando la velocidad de corrosión obtenida previamente mediante el método potencioestático.

Aplicando Formula:

$$\text{Pérdida de peso (g/año)} = V_{\text{corr}} \times \text{Área expuesta (cm}^2\text{)} \times \rho$$

Donde:

- **Vcorr:** Velocidad de corrosión = 2.32 mm/año
- **Área:** Superficie expuesta = 100 cm²
- **ρ:** Densidad del cobre ≈ 8.96 g/cm³

Cálculo simplificado usando corriente experimental:

Pérdida de peso= Pérdida de peso = I_{corr} x A x ρ

Pérdida de Peso = 0.002miliamperios x100cm² x 8.96 gr/cm³

Pérdida de Peso = 2.08 gr/año de material de Cobre Tipo L.

PERDIDA DE PESO POR VELOCIDAD DE CORROSION TUBERIA 100 cm2 DE COBRE TIPO L DE 2" (1.78 mm) Metodo Electrico						
Formula aplicada	Perdida Peso=VcorrxAreaxDensida					
Perdida de masa en gr/año	Corriente de corrosión	Masa molar del material	Numero de electrones intercambia dos	Area superficie expuesta	Constante Faraday	Densidad del material
2.08E+03	2.00E-03	63.5	2	100	96485	8.96
masa gr/dia						
0.00569863						

Tabla 06.- Datos de pérdida de peso por Vcorr tubería Cobre.

- La **pérdida de masa de 2.08 gramos por año** revela un grado de corrosión considerable para el cobre, similar al acero al carbono, en ambientes donde existen contaminantes agresivos.
- A pesar de la reputación del cobre como material resistente a la corrosión, su desempeño se ve comprometido en presencia de gases ácidos como **H₂S** y **CO₂**, especialmente cuando se transporta **gas natural (GN)** en condiciones húmedas o condensadas.
- Las paredes del tubo de cobre experimentarán adelgazamiento progresivo, comprometiendo su integridad a mediano plazo.
- Se recomienda aplicar **planes de inspección y monitoreo periódico**, así como estrategias de **mantenimiento preventivo**, cada **3 a 4 años** para sistemas expuestos a GN, especialmente en instalaciones críticas como hospitales.

Procesos de la toma de muestras

La toma de muestras para la evaluación de la velocidad de corrosión se realizó siguiendo un protocolo técnico previamente establecido, asegurando la repetibilidad y confiabilidad de los datos experimentales. Se llevaron a cabo **60 ensayos individuales para cada tipo de probeta**, correspondientes a las tuberías de **Cobre tipo L** y **Acero al carbono SCH40**, bajo condiciones controladas de laboratorio.

Cada muestra fue analizada mediante técnicas electroquímicas, aplicando el uso de curvas de **Tafel** para identificar los parámetros cinéticos de corrosión tanto en la zona anódica como catódica del sistema metálico. Estos ensayos fueron fundamentales para determinar la corriente de corrosión (I_{corr}) con precisión.

Ubicación del análisis:

Los ensayos experimentales se desarrollaron en los **laboratorios de la Facultad de Minas y Metalurgia**, ubicados en la ciudad de **Nasca**, contando con la infraestructura adecuada y personal especializado para llevar a cabo estudios de corrosión de metales.

Preparación de Materiales y Equipos

El objetivo de esta etapa fue asegurar la disponibilidad y operatividad de todos los recursos necesarios para realizar los ensayos de forma rigurosa. Se contempló la preparación previa de materiales, la calibración de instrumentos y la verificación del estado de los equipos.

Equipos principales utilizados:

- **Potenciostato GAMRY Instruments** (Serie Reference 600+) para mediciones electroquímicas.
- **Balanza analítica** para determinación precisa de masa.
- **Termómetro digital, cronómetro** y fichas de registro para control de parámetros ambientales y temporales.
- **Lista de chequeo** y formatos estandarizados (fichas de campo y cadena de custodia).

Todos los equipos fueron verificados y calibrados antes del inicio de los ensayos, siguiendo las recomendaciones del fabricante y normas de aseguramiento de calidad.

Adicionalmente, se documentaron las actividades mediante **vistas fotográficas** que registraron paso a paso los procedimientos realizados en laboratorio, con fines de trazabilidad y validación del estudio.

III. RESULTADOS

Presentación de tablas de Resultados

Procesamiento de información

El trabajo de laboratorio se desarrolló de manera meticulosa y organizada, siguiendo rigurosamente los protocolos establecidos para ensayos de corrosión. En esta fase, se procedió con la toma y monitoreo sistemático de todas las probetas correspondientes a las tuberías de cobre tipo L y acero al carbono SCH40, previamente instaladas y aplicadas en los sistemas de conducción de Gas Natural (GN) del Hospital Edgardo Rebagliati Martins, ubicado en el distrito de Jesús María, Lima.

Este estudio experimental formó parte de un programa de monitoreo de corrosión preventiva, cuyo objetivo fue determinar la tasa de deterioro de los materiales metálicos en contacto con agentes agresivos presentes en el gas natural, como el ácido sulfhídrico (H_2S) y el dióxido de carbono (CO_2). Los ensayos se realizaron conforme a las normas ASTM aplicables, permitiendo obtener datos cuantitativos confiables sobre la velocidad de corrosión y la pérdida de masa anual en ambos tipos de materiales.

Resultados del tratamiento de la información

Se recopilaron 60 datos experimentales correspondientes al análisis de corrosión de probetas extraídas de tubería de cobre tipo L, de 2" de diámetro y espesor de 1.78 mm, con un área de exposición de 100 cm². Cada probeta presentó una longitud promedio de 997 mm, registrándose una ligera pérdida de dimensión atribuible a los efectos de la corrosión. Las pruebas se realizaron mediante potenciostato, evaluando la respuesta electroquímica frente al medio agresivo. Posteriormente, se utilizó una balanza analítica para determinar la pérdida de masa como parte del procedimiento post-ensayo (Post-Test).

Asimismo, se obtuvieron 60 datos de prueba de probetas provenientes de tubería de acero al carbono tipo SCH40, de 4" de diámetro y 6.02 mm de espesor, también con un área expuesta de 100 cm². Cada muestra tenía una longitud promedio de 998 mm, observándose también una reducción dimensional debido al proceso corrosivo. Las mediciones se efectuaron bajo las mismas condiciones y equipos que las probetas de cobre, garantizando la uniformidad metodológica en la comparación de resultados.

Estudio económico

Se presenta el presupuesto general de la elaboración de los ensayos de la Tubería de Cobre tipo L y de la Tubería de Acero SCH 40 que se aplicaron en los servicios de conducción de Gas Natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins de Jesús María Lima estos análisis se realizaron en un 60% en los laboratorios de la Facultad de Minas y Metalurgia de la ciudad de Nasca.

Presupuesto de egresos

a) Costo de materiales:

Para la elaboración. Se procuró que los materiales sean accesibles y/o de calidad para los ensayos de laboratorio de este estudio de investigación de los análisis comparativos por corrosión de las probetas de tubería de Cobre tipo L y de Acero SCH40 al carbono.

Tabla 07. Costo de análisis. Fuente: Elaboración propia.

Tipo	Cantidad	Unidad	Material	Costo Unitario S/.	Costo total
Costos fijos					
Análisis	1	Unid	Análisis. Vcorr. Cobre	S/ 300.00	S/ 300.00
Previos	1	Unid	Análisis. Vcorr. Acero	S/ 300.00	S/ 300.00
Con Potenciostato	1	Unid	Balanza analítica	S/ 200.00	S/ 200.00
	1	Unid	Termómetro	S/ 100.00	S/ 100.00
	1	Unid	Medidor de pH	S/ 100.00	S/ 100.00
	2	Frasco	Matraz de 150 ml	S/ 60.00	S/ 60.00
	4	Unid	Lija fina	S/ 40.00	S/ 40.00
	1	Frasco	Acetona	S/ 80.00	S/ 80.00
	1	Rollo	Papel secador	S/ 20.00	S/ 20.00
Sub total					
Total general					S/ 1,200.00

b) Costo de análisis:

Los análisis se realizaron para poder comprobar las propiedades por análisis de corrosión que poseen cada tipo de tubería como el de Cobre tipo L y de Acero al carbón SCH40 a raíz de este estudio se realizó el costo de análisis a fin de poder ver el presupuesto gastado.

Tabla 08- Costo de Materiales para análisis de tuberías de acero y cobre.**Fuente:** Elaboración propia

Tipo	Cantidad	Unidad	Material	Costo Unitario S/.	Costo total
Costos fijos					
Analisis	2	Unid	Sierra de fierro	S/ 20.00	S/ 40.00
Previos	1	Unid	Martillo	S/ 30.00	S/ 30.00
	6	Unid	Pinzas aislante	S/ 40.00	S/ 240.00
	4	Mt	Cable mellizo	S/ 10.00	S/ 40.00
	6	Unid	Borneras de cobre	S/ 10.00	S/ 60.00
	2	Unid	Guantes	S/ 10.00	S/ 20.00
	3	Unid	Lija fina	S/ 10.00	S/ 10.00
	1	Frasco	Acetona	S/ 50.00	S/ 50.00
	1	Rollo	Papel secador	S/ 10.00	S/ 10.00
	2	Lt	Acido Sulfurico 0.1M	S/ 50.00	S/ 100.00
	2	Unid	Electrodo Ref. Ag/AgCl	S/ 80.00	S/ 160.00
	2	Lt	Aguas destilada	S/ 10.00	S/ 20.00
	2	Unid	Electrodo platino	S/ 80.00	S/ 160.00
Sub total					
Total general					S/ 940.00

c) Presupuesto de ingresos

Es importante indicar que podemos realizar estudios de corrosión a fin de evitar accidentes fatales en este caso por fugas de Gas Natural (GN) en el Hospital Edgardo Rebagliati Martin de Jesús María Lima esto se da realizando los monitoreos de los tubos de Cobre tipo L y Acero al Carbono SCH40 a continuación se presenta consto global aproximado del estudio.

Tabla 09- Presupuesto de gasto Total.

Item	Cantidad	Unidad de medida
Costo por analisis	S/ 1,200.00	soles
Costo por materiales	S/ 940.00	soles
Total Gasto	S/ 2,140.00	soles

d) Indicadores económicos y financieros

Según **Hoz Suárez (2008)**, “los indicadores referentes a rentabilidad evalúan las utilidades obtenidas respecto a la inversión, en otras palabras, refiere a la capacidad de generar ganancias a partir de una inversión inicial.” Este enfoque resulta fundamental al momento de seleccionar materiales para sistemas de conducción de Gas Natural (GN), donde deben evaluarse tanto el desempeño técnico como la viabilidad económica.

De acuerdo con **Bazzani y Cruz (2008)**, “la rentabilidad puede ser medida de dos formas: con métodos simples y métodos complejos. Los métodos simples recurren al uso de los estados financieros sin considerar el valor del dinero en el tiempo. Los métodos complejos, como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual (VA), sí lo consideran, y tienen mayor aceptación en la iniciativa privada.”

Asimismo, **Beatriz Herrera G.** sostiene que “para la determinación de la tasa de descuento existen tres modalidades: la primera, usar tasas de rentabilidad de proyectos similares; la segunda, aplicar modelos financieros como el CAPM y el WACC; y la tercera, adicionar un factor de corrección de riesgo a la tasa de mercado.”

En este contexto, se consideraron los costos de adquisición de materiales para la red de GN del **Hospital Edgardo Rebagliati Martins**, obtenidos a partir de fuentes de mercado representativas:

- El **precio de la tubería de cobre tipo L de 2”** (51 mm) es de **\$15.18 por pie lineal**, según la empresa Implosa. Considerando un tipo de cambio de **1 dólar = S/. 3.50**, el precio equivale a aproximadamente **S/. 53.13 por pie lineal**.
- En cuanto a la **tubería de acero al carbono de 4” SCH40** (6.02 mm de espesor), su precio oscila entre **\$129.998 y \$1,474.12 MXN por metro**, lo que representa un costo promedio de aproximadamente **S/. 455.00 por metro**, según cotizaciones de mercado.

Por tanto, el **costo total unitario combinado** de las tuberías de cobre tipo L y de acero al carbono 4” consideradas para este estudio es de aproximadamente **S/. 508.13 por metro lineal**.

Este análisis de costos será fundamental para el cálculo de indicadores de rentabilidad y evaluación de alternativas económicas en proyectos de conducción de GN, considerando además los efectos de la corrosión y los costos asociados a mantenimiento y reemplazo de material a largo plazo.

Tabla 10- Indicadores Tecnológicos y financieros.

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingreso		S/ 240.00	S/ 240.00	S/ 240.00	S/ 240.00	S/ 240.00
Total costo Variable		-S/ 20.00	-S/ 20.00	-S/ 20.00	-S/ 20.00	-S/ 20.00
Egresos compras tuberías		-S/ 508.13	-508.13	-508.13	-120	-120
Utilidad antes de Impuestos		-S/ 268.13	-S/ 268.13	-S/ 268.13	S/ 120.00	S/ 120.00
(-) Impuestos		-S/ 48.26	-S/ 48.26	-S/ 48.26	S/ 21.60	S/ 21.60
Total de Inversion ensayos	-S/ 2,140.00					
Flujo Neto de Caja	-S/ 2,140.00	-S/ 219.87	-S/ 219.87	-S/ 219.87	S/ 98.40	S/ 98.40
TASA DE DESCUENTO	40%					
VAN	-S/ 2,587.46					
TIR	-52%					
B/C	- 0.22					

Análisis estadísticos de los datos de Investigación sobre la comparación de la resistencia a la corrosión de las tuberías de acero al carbono y de cobre aplicados en la instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins del Distrito de Jesús María Lima”.

Análisis Descriptivos de los datos de Investigación.

Tabla 11- Análisis descriptivos datos de Tuberías de acero y cobre.

Estadísticos descriptivos							
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación	Asimetría	
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Desv. Error
Vcorr Fe micron/día	60	6.32	6.38	6.3532	0.02167	-0.176	0.309
Vcorr Cu micron/día	60	6.31	6.35	6.3317	0.01264	0.248	0.309
Peso perdido Cu mg/día	60	5.69	5.69	5.6900	0.00000		
Peso perdido Fe mg/día	60	4.91	4.93	4.9200	0.00823	0.000	0.309
N válido (por lista)	60						

Análisis de la Normalidad de los datos de investigación.

Tabla 12- Análisis Normalidad de datos de Tuberías de acero y cobre.

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Vcorr Cu micron/día	0.205	60	0.000	0.868	60	0.000
Peso perdido Cu mg/día		60			60	
Vcorr Fe micron/día	0.142	60	0.004	0.888	60	0.000
Peso perdido Fe mg/día	0.221	60	0.000	0.793	60	0.000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Tabla 13- Histograma campana de Gauss perdida peso acero.

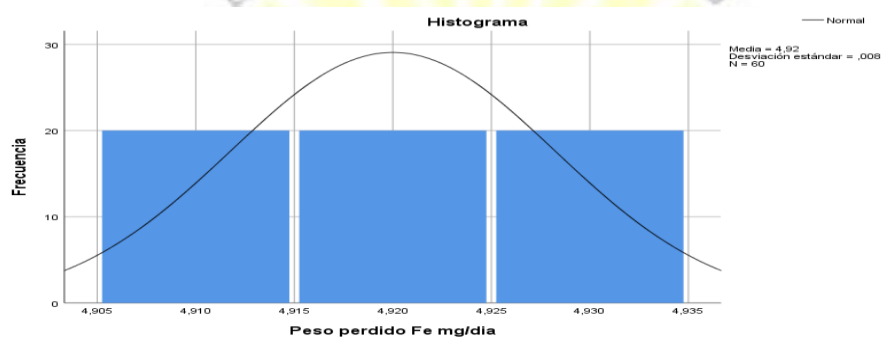


Tabla N° 14- Histograma campana de Gauss Vcorr área perdida Cobre.

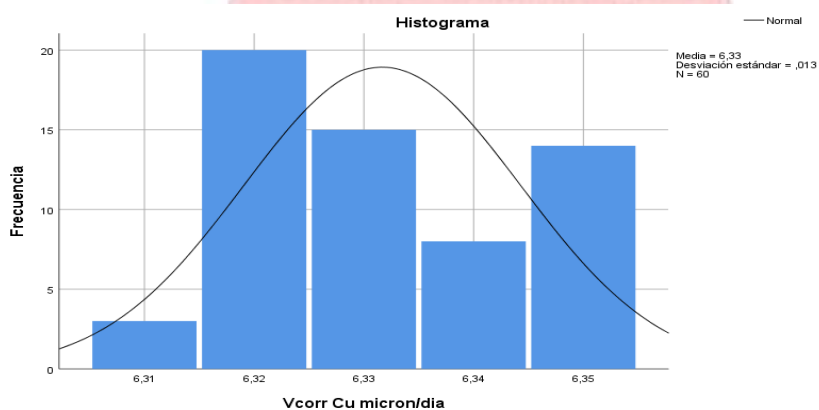
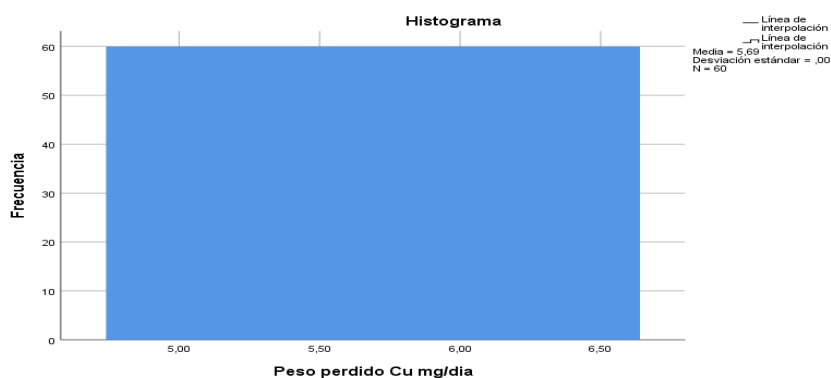


Tabla N°15- Histograma campana de Gauss Vcorr peso perdido Cobre.



Análisis de correlación de los datos de investigación.

Tabla N°16- Análisis de Correlación datos Tubería de acero y cobre.

Correlaciones					
			Vcorr Cu micron/dia	Peso perdido Cu mg/dia	
Rho de Spearman	Vcorr Cu micron/dia	Coefficiente de correlación	1.000		-0.095
		Sig. (bilateral)			0.472
		N	60	60	60
	Peso perdido Cu mg/dia	Coefficiente de correlación			
		Sig. (bilateral)			
		N	60	60	60
	Vcorr Fe micron/dia	Coefficiente de correlación	-0.095		1.000
		Sig. (bilateral)	0.472		0.617
		N	60	60	60
	Peso perdido Fe mg/dia	Coefficiente de correlación	-0.029		-0.066
		Sig. (bilateral)	0.824		0.617
		N	60	60	60

Presupuesto total general por concepto de análisis de laboratorio

Se presenta el presupuesto general de la elaboración de los ensayos de la Tubería de Cobre tipo L y de la Tubería de Acero SCH40 que se aplicaron en los servicios de conducción de Gas Natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins de Jesús María Lima estos análisis

se realizaron en un 60% de forma personal los 40 % en los laboratorios de la Facultad de Minas y Metalurgia de la ciudad de Nasca.

Tabla N° 17- Costo Materiales Análisis Tuberías de acero y cobre.

Tipo	Cantidad	Unidad	Material	Costo Unitario S/.	Costo total
Costos fijos					
Análisis	1	Unid	Análisis. Vcorr. Cobre	S/ 300.00	S/ 300.00
Previos	1	Unid	Análisis. Vcorr. Acero	S/ 300.00	S/ 300.00
Con Potenciostato	1	Unid	Balanza analítica	S/ 200.00	S/ 200.00
	1	Unid	Termómetro	S/ 100.00	S/ 100.00
	1	Unid	Medidor de pH	S/ 100.00	S/ 100.00
	2	Frasco	Matraz de 150 ml	S/ 60.00	S/ 60.00
	4	Unid	Lija fina	S/ 40.00	S/ 40.00
	1	Frasco	Acetona	S/ 80.00	S/ 80.00
	1	Rollo	Papel secador	S/ 20.00	S/ 20.00
Sub total					
Total general					S/ 1,200.00



IV. DISCUSIÓN

4.1. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS PRINCIPAL.

a. Validación de la Hipótesis principal N.º 1

Ho: $u_x = u$ y

El análisis comparativo de resistencia a la corrosión de la tubería de Acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) con la tubería de cobre tipo L de 2" (1.78 mm) no tiene valor significativo para su aplicación e instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins del Distrito de Jesús María Lima

H1: $u_x > u$

El análisis comparativo de resistencia a la corrosión de las tuberías de Acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y cobre tipo L de 2" (1.78 mm) tiene valor significativo para su aplicación e instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins del Distrito de Jesús María Lima

La hipótesis principal de esta investigación es: "El análisis comparativo de resistencia a la corrosión de la tubería de Acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) con la tubería de cobre tipo L de 2" (1.78 mm) no tiene valor significativo para su aplicación e instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins del Distrito de Jesús María Lima"; según los datos obtenidos de los análisis de las muestras o probetas de tubería de cobre y acero al carbono de una dimensión de 100cm² se ha comprobado que la tubería de acero al carbono se corroe a 4.7 mg/día y la tubería de cobre se corroe a 5.69 mg/día estos datos se obtuvieron por el método eléctrico dado por el potencióstato en una solución diluida de H₂SO₄ a una concentración 0.1 M con sus electrodos de referencia de Ag/AgCl y su electrodo de Platino se indica que las tuberías analizadas para su aplicación e instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins del Distrito de Jesús María Lima **valida la Hipótesis Nula** y afirma que los tipos de tubería instalados no tienen valor significativo en cuanto a su análisis comparativo de la corrosión pero si es necesario realizar la medidas de vigilancia y control de los estándares de seguridad y los mantenimientos preventivos y correctivos del caso aplicando un programa de evaluación y control de peligros y riesgos IPERC en el Hospital

Aplicando los procedimientos estadísticos de la correlación de Rho de Spearman para ambas variables, se observa una correlación negativa de -0,096 entre los materiales

comparados de las tuberías de acero al carbono y de cobre, lo que quiere decir que hay una correlación inversa negativa debido a que ambos son diferentes metales que conforman ambas variables.

TABLA 18
CONTRASTACION DE LA HIPOTESIS GENERAL V CORR DE LA TUBERIA
DE ACERO AL CARBONO Y DE LA TUBERIA DE COBRE TIPO L.

			Vcorr Fierro	Vcorr Cobre
Rho de Spearman	Vcorr Fierro	Coeficiente de correlación	1.000	-0.096
		Sig. (bilateral)		0.465
		N	60	60
	Vcorr Cobre	Coeficiente de correlación	-0.096	1.000
		Sig. (bilateral)	0.465	
		N	60	60

P valor no es significativa y está al nivel de 0,465

4.2. COMPROBACIÓN DE LAS HIPÓTESIS ESTADÍSTICAS.

a. Validación de la Hipótesis Específica N.º 1

Ho: $u_x = u_y$

La corrosión ambiental de las tuberías de Acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y cobre tipo L de 2" (1.78 mm) aplicados en la instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins del Distrito de Jesús María Lima, no es significativa.

H1: $u_x > u_y$

La corrosión ambiental de las tuberías de Acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y cobre tipo L de 2" (1.78 mm) aplicados en la instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins del Distrito de Jesús María Lima, es significativa.

TABLA N. °19
COMPROBACION DE LA HIPOTESIS ESTADISTICA V CORR AMBIENTAL
DE LA TUBERIA DE ACERO Y DE COBRE TIPO L

Correlaciones Hipotesis especifica 1				
			Vcorr Fe micron/dia	Vcorr Cu micron/dia
Rho de Spearman	Vcorr Fe micron/dia	Coefficiente de correlación	1.000	-0.095
		Sig. (bilateral)		0.472
		N	60	60
	Vcorr Cu micron/dia	Coefficiente de correlación	-0.095	1.000
		Sig. (bilateral)	0.472	
		N	60	60

P valor no es significativa y está al nivel de 0,472

La validación de la Hipótesis Especifica 01 de esta investigación sobre el efecto de la corrosión ambiental en el cuerpo de las probetas por el método eléctrico y su comparación a la de resistencia de la corrosión de la tubería de Acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) con la tubería de cobre tipo L de 2" (1.78 mm) no tiene valor significativo para su aplicación e instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins del Distrito de Jesús María Lima"; según los datos obtenidos de los análisis de las muestras o probetas de tubería de cobre y acero al carbono de una dimensión de 100cm² se ha comprobado que la tubería de acero al carbono pierde un área a raíz de 6.38 micrones(μ)/día y la tubería de cobre pierde un área de 6.35 micrones(μ)/ día estos datos se obtuvieron por el método eléctrico dado por el potencióstato en una solución diluida de H₂SO₄ a una concentración 0.1 M con sus electrodos de referencia de Ag/AgCl y su electrodo de Platino se indica que las tuberías analizadas para su aplicación e instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins del Distrito de Jesús María Lima, **valida la Hipótesis Nula debido a que su P valor es de 0.472** y afirma que los tipos de tubería instalados no tienen valor significativo en cuanto a su análisis comparativo del factor ambiental de la corrosión.

b. Validación de las Hipótesis específica N.º 2

Ho: $\mu_x = \mu_y$

El nivel comparativo de resistencia a la corrosión de las tuberías de Acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y cobre tipo L de 2" (1.78 mm) en la aplicación e instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins del Distrito de Jesús María Lima, no es alto.

H1: $\mu_x > \mu_y$

El nivel comparativo de resistencia a la corrosión de las tuberías de Acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y cobre tipo L de 2" (1.78 mm) en la aplicación e instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins del Distrito de Jesús María Lima, es ligeramente alto.

TABLA N.º 20
COMPROBACION DE LA HIPOTESIS ESTADISTICA NIVEL COMPARATIVO
DE RESISTENCIA A LA V CORR DE LA TUBERIA DE ACERO Y DE COBRE
TIPO L

Prueba de muestras emparejadas									
		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
					diferencia				
					Inferior	Superior			
Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio							
Par 1	Vcorr Fe micron/día - Vcorr Cu micron/día	0.02150	0.02603	0.00336	0.01478	0.02822	6.399	59	0.000

La validación de la Hipótesis Especifica 02 de esta investigación sobre el nivel comparativo de la resistencia a la corrosión en el cuerpo de las probetas por el método eléctrico y su comparación a la de resistencia de la corrosión de la tubería de Acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) con la tubería de cobre tipo L de 2" (1.78 mm) **tiene valor significativo alto debido al P valor de 0.000** para su aplicación e instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins del Distrito de Jesús María Lima"; según los datos obtenidos de los análisis de las muestras o probetas de tubería de cobre y acero al

carbono de una dimensión de 100cm² se ha comprobado que los niveles de corrosión de la tubería de acero al carbono es levemente mayor con una pérdida de área de 6.38 micrones(μ)/día y la tubería de cobre levemente menor y pierde un área de 6.35 micrones(μ)/ día estos datos se obtuvieron por el método eléctrico dado por el potenciostato en una solución diluida de H₂SO₄ a una concentración 0.1 M con sus electrodos de referencia de Ag/AgCl y su electrodo de Platino se indica que las tuberías analizadas para su aplicación e instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins del Distrito de Jesús María Lima, **valida la Hipótesis Alterna** y afirma que los tipos de tubería instalados tienen valor significativo en cuanto a su análisis comparativo sobre la resistencia a la corrosión.

c. Validación de las Hipótesis específica N.º 3

Ho: $\mu_x = \mu_y$

La corrosión galvánica no es significativa de afectar a las tuberías de conducción de Acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y cobre tipo L de 2" (1.78 mm) aplicados en la instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins del Distrito de Jesús María Lima de manera no es significativa.

H1: $\mu_x > \mu_y$

La corrosión galvánica es significativa de afectar a las tuberías de conducción de Acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y cobre tipo L de 2" (1.78 mm) aplicados en la instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins del Distrito de Jesús María Lima de manera es significativa.

TABLA N.º21
COMPROBACION DE LA HIPOTESIS ESTADISTICA NIVEL COMPARATIVO
DE LA CORROSION GALVANICA DE LA TUBERIA DE ACERO Y DE COBRE
TIPO L

Prueba de muestras emparejadas									
		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	Vcorr Fierro - Vcorr Cobre	-0.74850	0.02692	0.00348	-0.75545	-0.74155	-215.352	59	0.000

La validación de la Hipótesis Especifica 03 de esta investigación sobre el nivel comparativo de la Corrosión Galvánica en el cuerpo de las probetas por el método eléctrico de las tuberías de Acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) con la tubería de cobre tipo L de 2" (1.78 mm) **tiene valor significativo alto debido al P valor de 0.000** esto quiere decir que hay una corrosión galvánica y es significativa la cual se deberá tener un gran control de las tuberías para su aplicación e instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins del Distrito de Jesús María Lima"; según los datos obtenidos de los análisis de las muestras o probetas de tubería de cobre y acero al carbono de una dimensión de 100cm² se ha comprobado y se asume que los niveles de Corrosión Galvánica de la tubería de acero al carbono es levemente mayor con una pérdida de área de 6.38 micrones(μ)/día y la tubería de cobre levemente menor y pierde un área de 6.35 micrones(μ)/ día estos datos se obtuvieron por el método eléctrico dado por el potencióstato en una solución diluida de H₂SO₄ a una concentración 0.1 M con sus electrodos de referencia de Ag/AgCl y su electrodo de Platino se indica que las tuberías analizadas para su aplicación e instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins del Distrito de Jesús María Lima, **valida la Hipótesis Alterna** y afirma que los tipos de tubería instalados tienen valor significativo en cuanto a su análisis comparativo sobre la Corrosión Galvánica asumida en este proceso de investigación de laboratorio.

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Generalidades.

Este estudio de investigación presenta dos variables a analizar se indica que la variable independiente presenta dos indicadores del tipo cuantitativo los cuales son el área y el peso de las probetas y la variable dependiente presenta también dos indicadores del tipo cuantitativo que es de igual forma que el punto anterior que se analizan el área y el peso de los probetas de tuberías de acero y de cobre así mismo los datos son del tipo escalar

numérico cada uno con sus gráficos las muestras realizadas fueron 60 pruebas en el laboratorio es importante indicar que se aplicó el RHO de Sperman debido a que al realizar el análisis estadísticos de normalidad de los datos indicaron que no son paramétricos así mismo al realizar sus análisis de datos estadísticos de correlación se encontraron las valoraciones de las hipótesis en este caso se acepta la H_0 y se rechaza la H_1 esto implica que es fundamental el control de la corrosión de la tuberías de Acero al Carbono y de Cobre tipo L así como la aplicación del sistema de gestión de la seguridad en el trabajo con su matriz de riesgos IPERC a fin de generar la seguridad en el trabajo y el buen control y mantenimiento para prevenir los riesgos por fuga de GN en la línea de conducción y del tanque soterrado del Hospital Edgardo Rebagliati Martins, de Jesús María ,Lima cabe indicar que los análisis son muy importantes ya que es un Cuasi análisis del tipo predictivo el cual indica claramente que se debe tomar acciones preventivas y correctivas de mantenimiento del sistema de GN y que el sistema deberá reflejarse en la seguridad de su estructura y por consecuencia en la seguridad del trabajador del Hospital Edgardo Rebagliati Martins de Jesús María Lima ,Perú .

- **En cuanto a la Hipótesis Específica 01 se acepta la H_0 y se rechaza la H_1** esto según los datos obtenidos de los análisis de las muestras o probetas de tubería de cobre y acero al carbono de una dimensión de 100cm^2 se ha comprobado que la tubería de acero al carbono pierde un área a raíz de $6.38\text{ micrones}(\mu)/\text{día}$ y la tubería de cobre pierde un área de $6.35\text{ micrones}(\mu)/\text{día}$ estos datos se obtuvieron por el método eléctrico dado por el potencióstato en una solución diluida de H_2SO_4 a una concentración 0.1 M con sus electrodos de referencia de Ag/AgCl y su electrodo de Platino se indica que las tuberías analizadas para su aplicación e instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins del Distrito de Jesús María Lima, se valida la hipótesis **Nula debido a que su P valor es de 0.472** y afirma que los tipos de tubería instalados no tienen valor significativo en cuanto a su análisis comparativo del factor ambiental de la corrosión así mismo las

tuberías requiere ser controlado en su estructura que se reflejaría en la seguridad en la seguridad del personal .

▪ **En cuanto a la Hipótesis Especifica 02 se rechaza la Ho y se acepta la H1** de esta investigación sobre el nivel comparativo de la resistencia a la corrosión en el cuerpo de las probetas por el método eléctrico y su comparación a la de resistencia de la corrosión de la tubería de Acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) con la tubería de cobre tipo L de 2" (1.78 mm) **tiene valor significativo alto debido al P valor de 0.000** para su aplicación e instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins del Distrito de Jesús María Lima"; según los datos obtenidos de los análisis de las muestras o probetas de tubería de cobre y acero al carbono de una dimensión de 100cm² se ha comprobado que los niveles de corrosión de la tubería de acero al carbono es levemente mayor con una pérdida de área de 6.38 micrones(μ)/día y la tubería de cobre levemente menor y pierde un área de 6.35 micrones(μ) / día estos datos se obtuvieron por el método eléctrico dado por el potencióstato en una solución diluida de H₂SO₄ a una concentración 0.1 M con sus electrodos de referencia de Ag/AgCl y su electrodo de Platino se indica que las tuberías analizadas para su aplicación e instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins del Distrito de Jesús María Lima, **valida la Hipótesis Alternativa** y afirma que los tipos de tubería instalados tienen valor significativo en cuanto a su análisis comparativo sobre la resistencia a la corrosión.

• **En cuanto a la Hipótesis Especifica 03 se rechaza la Ho y se acepta la H1** de esta investigación sobre el nivel comparativo de la Corrosión Galvánica en el cuerpo de las probetas por el método eléctrico de las tuberías de Acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) con la tubería de cobre tipo L de 2" (1.78 mm) **tiene valor significativo alto debido al P valor de 0.000** esto quiere decir que hay una corrosión galvánica y es significativa la cual se deberá tener un gran control de las tuberías para su aplicación e instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins del Distrito de Jesús María Lima"; según los datos obtenidos de los análisis de las muestras o probetas de tubería

de cobre y acero al carbono de una dimensión de 100cm^2 se ha comprobado y se asume que los niveles de Corrosión Galvánica de la tubería de acero al carbono es levemente mayor con una pérdida de área de 6.38 micrones(μ)/día y la tubería de cobre levemente menor y pierde un área de 6.35 micrones(μ)/día estos datos se obtuvieron por el método eléctrico dado por el potenciostato en una solución diluida de H_2SO_4 a una concentración 0.1 M con sus electrodos de referencia de Ag/AgCl y su electrodo de Platino se indica que las tuberías analizadas para su aplicación e instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins del Distrito de Jesús María Lima, **valida la Hipótesis Alternativa** y afirma que los tipos de tubería instalados tienen valor significativo en cuanto a su análisis comparativo sobre la Corrosión Galvánica asumida en este proceso de investigación de laboratorio.



V. CONCLUSIONES

-La implementación de un sistema de gestión de la seguridad en el uso del GAS NATURAL (GN) en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins, Jesús María de Lima servirá de base para capacitar al personal a cargo y así mitigar y evaluar los riesgos y peligros que se presenten así mismo se recomienda trabajar con las normas de establecidas normas ASTM uso de tuberías para gas GN.

-El presente estudio de investigación realizado sobre el análisis comparativo de la corrosión de la tubería de acero carbono y de cobre tipo L implica la seguridad y mantenimiento de las tuberías de acero y de cobre que son las líneas de conducción de GN fue importante entender que es el proceso de la corrosión que pueden ser del tipo; atmosférico, galvánicos, corrientes parasitas ,biológicos ,sales y temperaturas altas en caso de ser época de verano en la ciudad de Lima y por ende el Hospital Edgardo Rebagliati Martins ,Jesús María de Lima asi mismo se indicó que el potencial electroquímico del cobre es de + 0.520 V. el potencial electroquímico del acero al carbono es - 0.44 V . esto es básico saber para evitar corrosión galvánica de esta manera sencilla se entendió que es un proceso químico o de oxidación electroquímica en el que la transferencia de electrones de un metal cambia de una valencia cero a una valencia positiva esto genera una acción en el parámetro de la temperatura, atmosférica y galvánico para el mantenimiento preventivo y de seguridad de las tuberías del Hospital Edgardo Rebagliati Martins, Jesús María de Lima.

-Es importante saber por se generan las causas de la corrosión de los tubos de acero y de cobre a si mismo se analizó la probeta del tubo de cobre de forma cualitativa si el combustible GN es corrosivo a través de prueba estándar de colores ASTM D 130 observándose por evidencia de cambio de color en su superficie del tubo.

-Los análisis de la corrosión de las tuberías de acero y de cobre se realizaron graficando en el diagrama de la curva de Tafel hallando la I_{corr} o intensidad de corriente para la aplicación del V_{corr} de cada probeta con el potencióstato, considerando las unidades de penetración en este caso de milímetros por año (mm/año) que equivale a la reducción del

espesor del material por unidad de tiempo y de pérdida de su peso de la probeta según las normas ASTM G102 aplicadas en los ensayos.

-Es importante pintar con pintura epoxi en dos etapas de esta manera se realizará la adecuada protección contra la corrosión de las tuberías de cobre y acero que son los conductores de GN en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins, Jesús María de Lima. (tuberías de GN de color Amarillo Ocre) se indica que todo esto deberá ser establecido de acuerdo al control y mantenimiento preventivo que está dentro del IPER de seguridad del trabajador de mantenimiento del Hospital Edgardo Rebagliati Martins, Jesús María de Lima.

- A fin de evitar los efectos de la corrosión galvánica que pueden observarse de forma leve en las tuberías y abrazaderas, se sugiere cambiar las abrazaderas de fierro por abrazaderas especiales con carcasa de plástico afín de evitar el fenómeno de la corrosión galvánica por contacto del tubo de cobre y de fierro esto de acuerdo al control de evaluación de riesgos del IPER y de esta manera se cumpla con los parámetros y normativas que presenta el ASNE/ANSI que garantizara calidad y seguridad en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins, Jesús María de Lima.

-Las tuberías aplicadas en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins, Jesús María de Lima son de Acero al carbono SCH40 4" y de cobre tipo L 2" son conocidas por su grosor y durabilidad, lo que las hace adecuadas para aplicaciones de gas GN (Gas Natural) así mismo esto no garantiza la seguridad si el personal no hace el mantenimiento preventivo y el conocimiento del tipo de corrosión que puede suceder en el campo.

-Realizar periódicamente el control de fugas de GN con equipos del tipo exposímetro en las uniones de la tubería a fin identificar fugas que no podrían ser visibles a simple vista y que este aspecto puede representar un gran riesgo muy grande al no haber control por lo que se sugiere controles preventivos de acuerdo a un IPERC del Hospital Edgardo Rebagliati Martins, Jesús María de Lima.

-La tubería que se presenta en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins son de Acero al carbono SCH40 de 4" de 6.02mm y de Cobre tipo L 2" de 1.78 mm. Estos datos fueron importantes para analizar sus dimensiones de peso y área que se perderán por la corrosión y hallar la velocidad de la corrosión V_{corr} .

-Existen técnicas más importantes como técnica de análisis de la velocidad de corrosión como el de espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS) que se testea con una señal

sinusoidal alterna de $\pm 10\text{mV}$ en un rango de frecuencia aplicada para el análisis del metal en estudio requerido.

-El Gas (GN) es incoloro e inodoro en su estado natural, a fin de poder sentir su olor se recomienda que se le adicione un agente odorizante para detectar fácilmente cualquier fuga por el olor se señala que este agente es una sustancia con un olor muy fuerte y notorio, el cual es el Metanotiol o Metil Mercaptano, que ayuda a su identificación rápidamente de la presencia de gas en caso de fuga al ambiente es importante indicar que la nariz puede detectar mercaptano a 1,6 PPB (partes por billón), y el rango típico de olores en el gas natural varía de 0 a 10 ppm (partes por millón) este aspecto es muy importante en la capacitación de manejo y uso de GLP en el Hospital de Nasca de acuerdo al programa de seguridad.

-para minimizar los riesgos identificados en las zonas de monitoreo no es necesario hacer una elevada inversión aplicando los exposímetros y por lo tanto las recomendaciones estipuladas deben tomarse en cuenta en cuanto al control de la seguridad en el trabajo del Hospital.

-Al identificar las posibles fugas y fallas el personal a cargo del Hospital Edgardo Rebagliati Martins deberán tomar las acciones correctivas del caso analizando las dimensiones tanto de área como de peso de las tuberías de Acero al carbono SCH40 de 4" de 6.02mm y de Cobre tipo L 2" de 1.78 mm. podrá tomar las medidas preventivas necesarias para minimizarlas y de ser posible evitarlas de acuerdo a la evaluación de riesgos y peligros.

-La ciudad de Lima mantiene temperaturas variadas en verano llega hasta los 32 grados y en invierno baja hasta 20 grados en la noche baja hasta los 18 grados por lo que se observó que las tuberías del el Hospital Edgardo Rebagliati Martins que son de Acero al carbono SCH40 de 4" de 6.02mm y de Cobre tipo L 2" de 1.78 mm. por estar a la intemperie estas presentan ya el desgaste de las pinturas debido a la evidencia de una leve craquelación superficial por efectos de la temperatura como sabemos que las tuberías de cobre y acero al carbono se expande y se contraen con los cambios de temperatura por lo que las tuberías deberán estar cubiertas para evitar este efecto de dilatación que causa la expansión y contracción que generan grietas superficiales y dañar el tubo con el tiempo.

-Es importante capacitar al personal entrenar en operaciones y seguridad en el manejo de GN.

-Está absolutamente prohibido el almacenamiento de materiales combustibles en los alrededores del gabinete, por lo que deberán estar en ambientes distintos del servicio en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins de Jesús María de Lima.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que la caja de protección no deberá estar en las siguientes posiciones, como en el frente de obstáculos que no permitan realizar la instalación de la tubería de conexión en forma perpendicular a la línea principal de conducción de gas.
- Se recomienda que las tuberías sean cambiadas cada 4 años de uso de acuerdo a las normas de su aplicación esto es debido a la corrosión de su pared por cada año de uso en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins de Jesús María de Lima.
- Se recomienda que la caja de protección no deberá estar en las siguientes posiciones, como en áreas o cuartos cerrados sin ventilación.
- Se recomienda que la caja de protección no deberá estar en las siguientes posiciones, como es debajo o delante de puertas, ventanas u otras aberturas de edificios que pudieran usarse como salidas de emergencia para incendios.
- Se recomienda que la caja de protección no deberá estar en las siguientes posiciones, como es en salas cerradas de motores, calderas, calefactores o equipos eléctricos, tampoco en salas de estar, vestidores, baños o ubicaciones similares.
- Las acometidas de gas de GN del Hospital Edgardo Rebagliati Martins de Jesús María de Lima. deben contar con su caja de protección para colocar el regulador de presión y el medidor con accesibilidad grado 2, a fin de mantener la protección por daños de la erosión del ambiente su estructura, deberá ser debidamente ventilada.
- El equipo regulador-medidor debe ser colocados en cajas de protección o en lugares destinados para su instalación, el medidor deberá ser accesible para su evaluación, reemplazo, toma de lecturas de y mantenimiento.
- La toma de lectura se realizará a presión regulada, debido a que el sistema de regulación estará aguas arriba del medidor y estará calculado para mantener la presión regulada a un valor estable de la presión y caudal a fin de evitar errores de medición.
- Los medidores de GN del Hospital Edgardo Rebagliati Martins de Jesús María de Lima deberán instalarse en lugares secos y ventilados, protegidos de la intemperie y aislados de los interruptores, motores u otros aparatos que generen descargas o chispas, y debe considerarse también, las recomendaciones de sus Fabricantes.
- La caja de protección de los reguladores de gas GN debe estar diseñado por un material de resistencia al fuego, calor y resistente a la corrosión del ambiente.
- El personal de mantenimiento del Hospital Edgardo Rebagliati Martins de Jesús María de Lima. deberá tener en cuenta que el GN es de menor densidad que el aire es más o menos

0.7 veces del Aire por lo cual tiende a subir y dispersarse, por lo que se tiene que ventilar el tanque por seguridad.

- El GN no es toxico no genera envenenamiento por inhalación. se deben tomarse precauciones en lugares cerrados, por lo que una fuga muy grande podría desplazar el aire del lugar y producir asfixia (falta de oxígeno).
- El Gas GN es altamente inflamable siendo su rango de inflamabilidad en aire entre 5% y 15% de concentración.
- Es recomendable a tomar en cuenta las eventuales fugas y fallas identificadas en el presente análisis para realizar el mantenimiento preventivo.
- Es recomendable que se hagan trabajos de monitoreo de detección de fugas de gas para verificar las uniones roscadas cada tres meses como medida preventiva.
- Es recomendable usar un exposímetro manual para el monitoreo y verificación constante de las juntas soldadas de las tuberías de Acero al carbono y de Cobre y las válvulas del sistema.
- Es básico aplicar un sistema de permisos de trabajos en caliente, previniendo la utilización de un explosímetro a fin de detectar atmosferas inflamables. El exposímetro debe cumplir con un plan de mantenimiento y calibraciones. Es importante adquirir un explosímetro con características probadas con reconocida marca.
- Cuando se realice modificaciones o poner en servicio una nueva línea es recomendable evacuar todo el GN antes de realizar los trabajos de ampliación y posteriormente realizar la prueba de presión a 1.5 veces la presión de operación normal, dichos trabajos tienen que ser realizados por una empresa instaladora de GN con experiencia.
- Es importante tener en todo momento los caminos de acceso y salida despejada (libre de obstáculos y con el sentido de tránsito señalizado y codificar cada sistema de anclajes con sujetadores para facilitar su monitoreo durante el programa de mantenimiento y el reemplazo de piezas deterioradas utilizando solo herramientas para pernos en caso de su mantenimiento de sus tuberías del Hospital Edgardo Rebagliati Martins de Jesús María de Lima.
- Es recomendable poner instructivo de uso para el cierre de emergencia de las válvulas de corte que hay en cada punto de la línea de GN. Estas llaves deberán ser de preferencia de un solo sentido de accionamiento, para evitar confusiones durante el cierre de las válvulas del sistema.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Salamanca Sarmiento (2020) ESTUDIO DE LA DEGRADACIÓN Y CORROSIÓN EN TUBERÍAS DE COBRE, ALUMINIO Y ACERO EXPUESTAS A AMBIENTES SALINOS
- Clavijo Cáceres, Carlo Cesar (2014) Sistemas de protección catódica para tuberías enterradas de transmisión de gas natural.
- Huamán Ruiz, Eduardo Fidel (2023) Propuesta de mejora del proceso constructivo para reducir la corrosión externa en redes de acero de alta presión en una empresa de distribución de gas natural, basado en mejoras con ingeniería de métodos y Lean Manufacturing utilizando estandarización y gestión de cambios.
- Ticona Mamani, S. (2021) Evaluación de integridad de la tubería de red primaria para su mantenimiento en la distribución de gas natural
- Alberto Quispe, Lurdes (2021) Aplicación de ensayos no destructivos en la medición del desgaste de tuberías y accesorios en estaciones distritales de regulación mediante el método ultrasónico de la Ciudad de El Alto.
- Gómez Prado, Nataly Pamela (2024) Estudio y desarrollo de un sistema de protección catódica para la red primaria Aguirre-Colomi mediante la Norma Internacional de Control de Corrosión Externa de un Sistema de Tuberías.
- Contreras, R. L. (2022). Diseño e instalación de tuberías de cobre tipo ly pealpe, para suministrar 100 m³/h de gas natural, al mercado virgen de las Mercedes-Lurín.
- Oliva Conde, L. Á. (2021). Estudio comparativo sobre la resistencia a la corrosión en aceros inoxidables utilizados en intercambiadores de calor.
- Sarmiento, J. R. S., Cruz, N. I. V., Sepúlveda, D. N. L., Tique, J. A. T., Yanquen, L. Y. G., & Gonzales, P. J. G. (2020). Estudio de la degradación y corrosión en tuberías de cobre, aluminio y acero expuestas a ambientes salinos. *INGENIERÍA: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 7(2).
- Limo Meiggs, R. D., & Huamán Ruiz, E. F. Propuesta de mejora del proceso constructivo para reducir la corrosión externa en redes de acero de alta presión en una empresa de distribución de gas natural, basado en mejoras con ingeniería de métodos y Lean Manufacturing utilizando estandarización y gestión de cambios.

- Amaru Ticona, B. R. Análisis cuantitativo para predecir las presiones de falla del Gasoducto Taquiperenda-Cochabamba (GTC) que contiene defectos de corrosión y grietas (Doctoral dissertation).
- Guzmán Rivera, H. J. (2020). Análisis de falla de intercambiador de calor tipo carcasa-tubos, utilizado en el sistema de regeneración de monoetilenglicol.
- López García, P. A., & López García, C. J. (2020). Análisis de factibilidad para el diseño y construcción de instalaciones de gas natural en viviendas unifamiliares empleando el RNE EM-040, en el distrito de Trujillo-2018.
- Palacios Jiménez, E. A., & Villanueva Plasencia, M. G. (2023). Diseño de un sistema mecánico de tuberías y tanque de almacenamiento de 5000 galones para una estación de servicio de GLP.
- Contreras, R. L. (2022). Diseño e instalación de tuberías de cobre tipo ly pealpe, para suministrar 100 m³/h de gas natural, al mercado virgen de las Mercedes-Lurín.
- Domínguez Luza, W. (2020). Descripción del proceso de gas natural y optimización del tratamiento en el complejo de gas Malvinas-Camisea.
- Neyra Rodríguez, J. L. (2021). Implementación y comparativa de una red interna para gas natural entre tuberías de Pealpe y tuberías de cobre en instalaciones residenciales.
- Laime Vito, E. Comportamiento a la corrosión de la tubería de revestimiento de acero del 3% de cromo por el contenido de dióxido de Carbono en el Campo Petrolero Bermejo (Doctoral dissertation).
- Álvarez Garro, C. V. Mantenimiento y Rehabilitación de líneas de transporte de hidrocarburos con revestimiento EPOXI 100% Sólidos (Doctoral dissertation).
- Trejo Beltrán, C. F., & Vega Jiménez, K. A. (2020). Efecto de las propiedades fisicoquímicas de los suelos en la velocidad de corrosión localizada en aceros de ductos.
- Rojas Paz, M. L. (2022). Plan de mantenimiento en estructuras de acero al Carbono en la planta de Perú Lng, para la Prevención de la corrosión.
- Romero Romero, J. L., & Valverde Giordano, C. R. (2021). Diseño de un sistema alternativo de tuberías en la conducción de gas natural de 340 mbar para reducir costos de inversión en un centro de capacitación en San Miguel-Lima.
- VASQUEZ, C. F., PRIETO, M. I. A., & LOPEZ, J. C. R. (2022). Procedimiento de un sistema de protección catódica.

- Salcedo Chuquimia, Y. Análisis de variables técnicas para ajustar los parámetros de operación de la unidad de trietilenglicol del sistema de deshidratación del gas natural de la Planta de Colpa (Doctoral dissertation).
- Gutiérrez Amaya, W. (2023). Y MATEMÁTICAS (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Trujillo).
- Yancce Martínez, F. J. (2021). Plan de mejora para reparación de tuberías de gas natural licuado en la empresa Techint Sac.
- Díaz Rodríguez, D. A., & Pastor García, J. P. (2023). Propuesta de implementación de una red interna de gas natural para reducción de costos en el Hospital Eleazar Guzmán Barrón.
- Aruquipa Colque, M. F. Análisis de problemas operativos en el procesamiento del gas natural en la Planta Margarita (Doctoral dissertation).
- Santacruz Jaramillo, C. A. (2024). Almacenamiento y transporte de gas en Ecuador: almacenamiento y transporte de gas en el Ecuador enfocado al Campo Amistad.
- Cortés Pomar, G., & Quimbayo Casallas, M. P. (2021). Propuesta de un diseño de sistema de redes de distribución de gas natural doméstico para la vereda San Roque y zonas aledañas al campo Cerro Gordo, en el departamento del Norte de Santander.
- Zavala Gonzales, R. A. (2021). Diseño de redes de vapor para suministrar a las áreas de servicios del Hospital II de Moquegua, beneficiándose del paso del gasoducto andino del Sur.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1.

Figura 16 y 17: (Izquierda) Probetas de cobre tipo L 2" y Acero al carbono SCH40 de 4" de 10 cm. (Derecha) Medición de probetas con micrómetro tras prueba de corrosión.



Figura 18 y 19: Realizando las pruebas de corrosión en laboratorio.



Anexo 2: Operacionalización de variables $Y=f(X_1 X_2 X_3)$

Análisis comparativo de resistencia a la corrosión acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y cobre tipo L de 2" (1.78 mm)
Aplicados en la instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins del distrito de Jesús María Lima.

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Análisis comparativo de resistencia a la corrosión de las tuberías de conducción de Acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y cobre tipo L de 2" (1.78 mm)	Es el estudio que se desarrollara al comparar la corrosión de los dos tubos de Acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y cobre tipo L de 2" (1.78 mm) controlando peso y volumen y el nivel de corrosión por curva de Tafel.	1. Química 2. Física 3. Cuantitativa	1. Aspectos químicos de la corrosión 2. Aspectos físicos del cuerpo de la tubería metálica de Acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4" (6.02 mm) y cobre tipo L de 2" (1.78 mm) 3. Números de muestras y de valores de los parámetros a realizar
VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Aplicados en la instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins del Distrito de Jesús María Lima.	Medidas de seguridad en el trabajo y control de la corrosión con pintura epóxica y de fugas de gas natural en las tuberías.	1. Cualitativo 2. Cuantitativo 3. Factor Ambiental de corrosión	1 tipos de corrosión de los tubos, Vcorr, Icorr, Pérdida de Pesos 2. Niveles de corrosión por año 3. Aspectos ambientales de corrosión como la temperatura, ambientes corrosivos y a la erosión.

Anexo 3: Matriz de consistencia

Título: “Análisis comparativo de resistencia a la corrosión acero al carbono tipo cédula SCH40 de 4” (6.02 mm) y cobre tipo L de 2” (1.78 mm) Aplicados en la instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliathi Martins del distrito de Jesús María Lima.

”

PROBLEMA PRINCIPAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADOR V.I.	VARIABLE DEPENDIENTE	INDICADOR V.D.
¿Qué hacer para realizar los análisis comparativos de la resistencia a la corrosión de las tuberías de conducción de acero al carbono y de cobre aplicados en la instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliathi Martins del Distrito de Jesús María Lima?	Determinar los análisis comparativos de resistencia a la corrosión de las tuberías de conducción de acero al carbono y de cobre aplicados en la instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliathi Martins del Distrito de Jesús María Lima”	El análisis comparativo de resistencia a la corrosión de las tuberías de conducción de acero al carbono y de cobre influye directa y significativamente en la aplicación e instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliathi Martins del Distrito de Jesús María Lima	Análisis comparativo de resistencia a la corrosión de las tuberías de conducción de acero al carbono y de cobre		Aplicados en la instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliathi Martins del Distrito de Jesús María Lima.	
PROBLEMA ESPECIFICOS	OBJETIVO ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICAS	VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADOR V.I.	VARIABLE DEPENDIENTE	INDICADOR V.D.
¿En qué medida se resolverá el problema de la corrosión de las tuberías de conducción de acero al carbono y de cobre aplicados en la instalación del gas natural en el	Determinar los niveles de corrosión de las tuberías de conducción de acero al carbono y de cobre aplicados en la instalación del gas natural en el Hospital Edgardo	La corrosión ambiental de las tuberías de conducción de acero al carbono y de cobre aplicados en la instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliathi Martins del	Análisis electroquímico Vc es la velocidad de corrosión (en mm/año o mil/year, milésimas de pulgada por año).	$V_{corr} = K \cdot (I_{corr} / \rho) \cdot (M/n)$	Control de fugas de	En ppm

Hospital Edgardo Rebagliathi Martins del Distrito de Jesús María Lima?	Rebagliathi Martins del Distrito de Jesús María Lima	Distrito de Jesús María Lima, es significativa.	Δm es la pérdida de masa del metal (en gramos). A es el área expuesta del metal (en cm^2). t es el tiempo de exposición (en horas o años, dependiendo de la unidad que se use para Vc). ρ es la densidad del metal (en g/cm^3). Análisis del volumen de corrosión Δm es la pérdida de peso (en gramos). m_1 es la masa inicial del metal antes de la exposición al medio corrosivo (en gramos). m_2 es la masa final del metal después de la exposición al medio corrosivo (en gramos)				
¿En qué medida se podrá realizar el estudio de la corrosión de la tubería de cobre aplicados en la instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliathi Martins del Distrito de Jesús María Lima?	Determinar cómo afecta la corrosión. las tuberías. de conducción de acero al carbono y de cobre aplicados en la instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliathi Martins del Distrito de Jesús María Lima	El nivel comparativo de resistencia a la corrosión de las tuberías de conducción de acero al carbono y de cobre en la aplicación e instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliathi Martins del Distrito de Jesús María Lima es alto.		Perd. Peso = $V_{\text{corr}} * \text{Área} * \rho$	Control de pintura epóxica	de Amarillo ocre	
¿En qué medida se podrá realizar el estudio de la corrosión de la tubería de acero aplicados en la instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliathi Martins del Distrito de Jesús María Lima?	Determinar los parámetros que afectan para la corrosión de las tuberías. de conducción de acero al carbono y de cobre aplicados en la instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliathi Martins del Distrito de Jesús María Lima	La corrosión galvánica afecta a las tuberías de conducción de acero al carbono y de cobre aplicados en la instalación del gas natural en el Hospital Edgardo Rebagliathi Martins del Distrito de Jesús María Lima	Análisis de peso y volumen	Densidad Cu y Fe	Control de la presión	Nivel Bar	

Distrito de Jesús María Lima de manera
Lima significativa.

Cronograma de actividades.

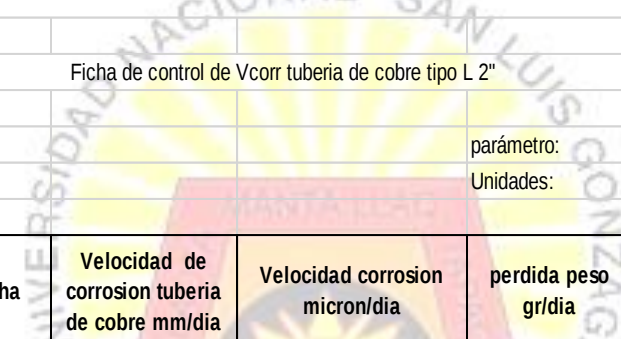
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DEL PLAN DE TESIS

Período: Noviembre, 2024 a febrero 2025 Actividades	Noviembre				Diciembre					Enero				Febrero			
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4
Investigación de temas	X	X	X	X	X	X	X	X	X								
Análisis del problema.			X	X	X	X	X										
Presentación del plan de tesis			X	X	X	X											
Búsqueda información. Física y de internet				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
Elaboración del primer laboratorio y campo							X	X	X	X	X						
Metodología						X	X	X	X	X							
Evaluación y elección de instrumento								X	X	X	X						
Elaboración de proyecto				X	X	X	X	X	X	X							
Revisión del proyecto							X	X	X	X	X	X	X				
Corrección del proyecto								X	X	X	X	X	X				
Presentación de la estadística								X	X	X	X	X					
Control de datos del proyecto							X	X	X	X	X						
Análisis de documentos						X	X	X	X	X	X	X					
Trabajo de campo				X	X	X	X	X	X	X	X	X					
Análisis de instrumentos						X	X	X	X	X	X	X	X				

Elaboración del informe										X	X	X	X	X	X	X	X
Revisión, corrección													X	X	X	X	X
Presentación															X	X	X

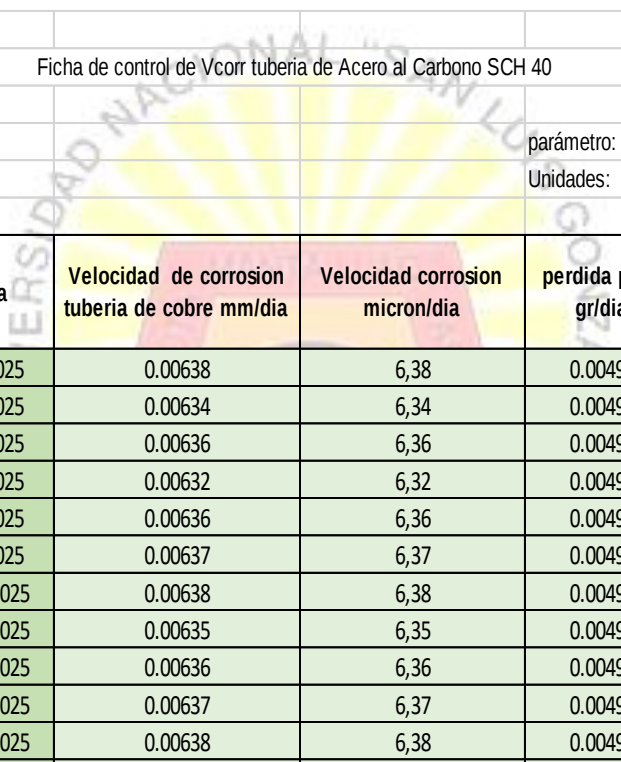


Ficha de control del proceso de análisis de corrosión tubería Cobre Tipo L 2"

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA DE ICA FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS Y METALURGIA DE NASCA					
				Formato 001	
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN					
Prueba de corosion de tuberia de cobre tipo L					
Ficha de control de Vcorr tuberia de cobre tipo L 2"					
Fecha Inicio:				parámetro:	
Hora de inicio:				Unidades:	
					
Nº de Análisis	Fecha	Velocidad de corrosion tuberia de cobre mm/día	Velocidad corrosion micron/día	perdida peso gr/día	perdida peso mg/día
1	4/01/2025	0.00635	6,35	0.00569	5,69
2	5/01/2025	0.00632	6,32	0.00569	5,69
3	6/01/2025	0.00633	6,33	0.00569	5,69
4	7/01/2025	0.00633	6,33	0.00569	5,69
5	8/01/2025	0.00632	6,32	0.00569	5,69
6	9/01/2025	0.00632	6,32	0.00569	5,69
7	10/01/2025	0.00632	6,32	0.00569	5,69
8	11/01/2025	0.00633	6,33	0.00569	5,69
9	12/01/2025	0.00633	6,33	0.00569	5,69
10	13/01/2025	0.00634	6,34	0.00569	5,69
11	14/01/2025	0.00632	6,32	0.00569	5,69
12	15/01/2025	0.00634	6,34	0.00569	5,69
13	16/01/2025	0.00635	6,35	0.00569	5,69
14	17/01/2025	0.00635	6,35	0.00569	5,69
15	18/01/2025	0.00634	6,34	0.00569	5,69
16	19/01/2025	0.00633	6,33	0.00569	5,69
17	20/01/2025	0.00632	6,32	0.00569	5,69

Creación Propia

Ficha de control del proceso de análisis de corrosión tubería Acero al Carbono SCH40”

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA DE ICA FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS Y METALURGIA DE NASCA					
					
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN					Formato 002
Prueba de corosion de tuberia de Acero al carbono SCH40					
Ficha de control de Vcorr tuberia de Acero al Carbono SCH 40					
Fecha Inicio:		parámetro:			
Hora de inicio:		Unidades:			
					
Nº de Análisis	Fecha	Velocidad de corrosion tuberia de cobre mm/dia	Velocidad corrosion micron/dia	perdida peso gr/dia	perdida peso mg/dia
1	4/01/2025	0.00638	6,38	0.00493	4,93
2	5/01/2025	0.00634	6,34	0.00491	4,91
3	6/01/2025	0.00636	6,36	0.00492	4,92
4	7/01/2025	0.00632	6,32	0.00493	4,93
5	8/01/2025	0.00636	6,36	0.00491	4,91
6	9/01/2025	0.00637	6,37	0.00491	4,91
7	10/01/2025	0.00638	6,38	0.00492	4,92
8	11/01/2025	0.00635	6,35	0.00493	4,93
9	12/01/2025	0.00636	6,36	0.00493	4,93
10	13/01/2025	0.00637	6,37	0.00493	4,93
11	14/01/2025	0.00638	6,38	0.00491	4,91
12	15/01/2025	0.00635	6,35	0.00493	4,93
13	16/01/2025	0.00636	6,36	0.00493	4,93
14	17/01/2025	0.00634	6,34	0.00493	4,93
15	18/01/2025	0.00633	6,33	0.00491	4,91
16	19/01/2025	0.00635	6,35	0.00491	4,91
17	20/01/2025	0.00633	6,33	0.00493	4,93

Creación Propia

Ficha de control del proceso de análisis de corrosión

Tubería de Acero Carbono Nº Prueba/día	(2.33mm/ año)Vcorr mm/día	Vcorr en μ /día micrometros (μ)=0.001m	Perdida de Peso gr/día	perdida de peso mg/día
1	0.00638	6,38	0.00493	4,93
2	0.00634	6,34	0.00491	4,91
3	0.00636	6,36	0.00492	4,92
4	0.00632	6,32	0.00493	4,93
5	0.00636	6,36	0.00491	4,91
6	0.00637	6,37	0.00491	4,91
7	0.00638	6,38	0.00492	4,92
8	0.00635	6,35	0.00493	4,93
9	0.00636	6,36	0.00493	4,93
10	0.00637	6,37	0.00493	4,93
11	0.00638	6,38	0.00491	4,91
12	0.00635	6,35	0.00493	4,93
13	0.00636	6,36	0.00493	4,93
14	0.00634	6,34	0.00493	4,93
15	0.00633	6,33	0.00491	4,91
16	0.00635	6,35	0.00491	4,91
17	0.00633	6,33	0.00493	4,93
18	0.00634	6,34	0.00493	4,93
19	0.00638	6,38	0.00491	4,91
20	0.00636	6,36	0.00492	4,92
21	0.00637	6,37	0.00493	4,93
22	0.00632	6,32	0.00492	4,92
23	0.00638	6,38	0.00492	4,92
24	0.00632	6,32	0.00493	4,93
25	0.00638	6,38	0.00492	4,92
26	0.00638	6,38	0.00492	4,92
27	0.00638	6,38	0.00491	4,91
28	0.00632	6,32	0.00493	4,93
29	0.00638	6,38	0.00492	4,92
30	0.00633	6,33	0.00491	4,91
31	0.00634	6,34	0.00491	4,91
32	0.00636	6,36	0.00491	4,91
33	0.00636	6,36	0.00492	4,92
34	0.00636	6,36	0.00492	4,92
35	0.00632	6,32	0.00491	4,91
36	0.00637	6,37	0.00492	4,92
37	0.00634	6,34	0.00492	4,92
38	0.00632	6,32	0.00492	4,92
39	0.00632	6,32	0.00491	4,91
40	0.00638	6,38	0.00493	4,93
41	0.00638	6,38	0.00493	4,93
42	0.00633	6,33	0.00491	4,91
43	0.00634	6,34	0.00491	4,91
44	0.00636	6,36	0.00491	4,91
45	0.00634	6,34	0.00492	4,92
46	0.00632	6,32	0.00493	4,93
47	0.00632	6,32	0.00493	4,93
48	0.00638	6,38	0.00492	4,92
49	0.00638	6,38	0.00492	4,92
50	0.00637	6,37	0.00491	4,91
51	0.00635	6,35	0.00491	4,91
52	0.00635	6,35	0.00491	4,91
53	0.00634	6,34	0.00492	4,92
54	0.00633	6,33	0.00492	4,92
55	0.00633	6,33	0.00493	4,93
56	0.00636	6,36	0.00493	4,93
57	0.00638	6,38	0.00492	4,92
58	0.00638	6,38	0.00491	4,91
59	0.00634	6,34	0.00492	4,92
60	0.00637	6,37	0.00493	4,93

Tubería de cobre LNº Prueba /dia	2.32mm/año) Vcorr mm/dia	Vcorr en µ/día micrometros (µ)=0.001mm	(2.08gr/año) Perdida de Peso gr/dia	perdida de peso mg/dia
1	0.00635	6,35	0.00569	5,69
2	0.00632	6,32	0.00569	5,69
3	0.00633	6,33	0.00569	5,69
4	0.00633	6,33	0.00569	5,69
5	0.00632	6,32	0.00569	5,69
6	0.00632	6,32	0.00569	5,69
7	0.00632	6,32	0.00569	5,69
8	0.00633	6,33	0.00569	5,69
9	0.00633	6,33	0.00569	5,69
10	0.00634	6,34	0.00569	5,69
11	0.00632	6,32	0.00569	5,69
12	0.00634	6,34	0.00569	5,69
13	0.00635	6,35	0.00569	5,69
14	0.00635	6,35	0.00569	5,69
15	0.00634	6,34	0.00569	5,69
16	0.00633	6,33	0.00569	5,69
17	0.00632	6,32	0.00569	5,69
18	0.00632	6,32	0.00569	5,69
19	0.00634	6,34	0.00569	5,69
20	0.00633	6,33	0.00569	5,69
21	0.00631	6,31	0.00569	5,69
22	0.00635	6,35	0.00569	5,69
23	0.00635	6,35	0.00569	5,69
24	0.00635	6,35	0.00569	5,69
25	0.00633	6,33	0.00569	5,69
26	0.00632	6,32	0.00569	5,69
27	0.00633	6,33	0.00569	5,69
28	0.00632	6,32	0.00569	5,69
29	0.00632	6,32	0.00569	5,69
30	0.00633	6,33	0.00569	5,69
31	0.00635	6,35	0.00569	5,69
32	0.00632	6,32	0.00569	5,69
33	0.00634	6,34	0.00569	5,69
34	0.00634	6,34	0.00569	5,69
35	0.00635	6,35	0.00569	5,69
36	0.00633	6,33	0.00569	5,69
37	0.00634	6,34	0.00569	5,69
38	0.00632	6,32	0.00569	5,69
39	0.00633	6,33	0.00569	5,69
40	0.00634	6,34	0.00569	5,69
41	0.00632	6,32	0.00569	5,69
42	0.00633	6,33	0.00569	5,69
43	0.00632	6,32	0.00569	5,69
44	0.00635	6,35	0.00569	5,69
45	0.00635	6,35	0.00569	5,69
46	0.00632	6,32	0.00569	5,69
47	0.00631	6,31	0.00569	5,69
48	0.00631	6,31	0.00569	5,69
49	0.00632	6,32	0.00569	5,69
50	0.00633	6,33	0.00569	5,69
51	0.00635	6,35	0.00569	5,69
52	0.00633	6,33	0.00569	5,69
53	0.00632	6,32	0.00569	5,69
54	0.00635	6,35	0.00569	5,69
55	0.00632	6,32	0.00569	5,69
56	0.00635	6,35	0.00569	5,69
57	0.00635	6,35	0.00569	5,69
58	0.00632	6,32	0.00569	5,69
59	0.00633	6,33	0.00569	5,69
60	0.00632	6,32	0.00569	5,69

PERDIDA DE AREA POR LA VELOCIDAD DE CORRSION TUBERIA 100 cm2 DE ACERO ALCARBONO SCH40 4" (6.02mm) Metodo Electrico Potenciometro Formula general basada en la ley de Faraday (Principios electroquimicos) NORMA ASTM G102 Formula aplicada $V_{corr} = K \cdot (I_{corr}/\rho) \cdot (M/n)$								
Velocidad de corrosion en mm/Año	Corriente de corrosion I_{corr}	Masa(M) molar del material gr/mol	Numero de electrones intercamb	Area superfice expuesta cm2	Constante Faraday C/mol	Densidad del material gr/cm3	Constante K	Peso Equivalente (EW) M/n
2.33E-05	2.00E-03	55.85	2	100	96485	7.85	3.27E-03	27.925
Vcorr : Convirtiendo a mm/Dia	Numero dias /año							
0.0063835616	365							

PERDIDA DE PESO POR VELOCIDAD DE CORROSION TUBERIA 100 cm2 DE ACERO AL CARBONO TIPO SCH40 4" (6.02 mm) Metodo Electrico Formula aplicada $Perdida\ Peso = V_{corr} \cdot Area \cdot Densidad$						
Perdidad de masa en gr/año	Corriente de corrosion	Masa molar del material	numero de electrones	Area superfice expuesta	Constante Faraday	Densidad del material
1.83E+03	2.00E-03	55.85	2	100	96485	7.85
masa gr/dia						
0.004932						

PERDIDA DE AREA POR VELOCIDAD DE CORROSION DE TUBERIA 100 cm2 DE COBRE TIPO L DE 2" (1.78 mm) ANALISIS METODO ELECTRICO CON POTENCIOSTATO								
Formula general basada en la ley de Faraday (Principios Electroquimicos) NORMA ASTM G102								
Formula aplicada $V_{corr} = K * (I_{corr}/\rho) * (M/n)$								
Velocidad de corrosion en mm/Año	Corriente de corrosion I _{corr}	Masa(M) molar del material gr/mol	Numero de electrones intercambia dos n=2	Area superficie expuesta cm2	Constante Faraday C/mol	Densidad del material gr/cm3	Constante K	Peso Equivalente (EW) M/n
2.32E-05	2.00E-03	63.5	2	100	96485	8.96	3.27E-03	31.75
V _{corr} : Convirtiendo a mm/Dia	Numero dias /año							
0.006356164	365							

