



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO PARA EL
ANÁLISIS Y SUPERVISIÓN DE LA CORROSIÓN
EN TUBERÍAS, MEDIANTE INSTRUMENTOS DE
MEDICIÓN DE SEÑALES ANALÓGICAS Y
DIGITALES”**

**ESPINOSA VELÁSQUEZ LUIS ERNESTO
CALLE GALINDO JOSÉ MIGUEL**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

RIOBAMBA – ECUADOR

2014

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2014-02-03

Yo recomiendo que la Tesis preparado por:

LUIS ERNESTO ESPINOSA VELÁSQUEZ

Titulada:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO PARA EL ANÁLISIS Y SUPERVISIÓN
DE LA CORROSIÓN EN TUBERÍAS, MEDIANTE INSTRUMENTOS DE
MEDICIÓN DE SEÑALES ANALÓGICAS Y DIGITALES”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Luis López T.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Marco Santillán G.
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2014-02-03

Yo recomiendo que la Tesis preparado por:

JOSÉ MIGUEL CALLE GALINDO

Titulada:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO PARA EL ANÁLISIS Y SUPERVISIÓN
DE LA CORROSIÓN EN TUBERÍAS, MEDIANTE INSTRUMENTOS DE
MEDICIÓN DE SEÑALES ANALÓGICAS Y DIGITALES”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Luis López T.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Marco Santillán G.
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: LUIS ERNESTO ESPINOSA VELÁSQUEZ

TÍTULO DE LA TESIS: “IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO PARA EL ANÁLISIS Y SUPERVISIÓN DE LA CORROSIÓN EN TUBERÍAS, MEDIANTE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE SEÑALES ANALÓGICAS Y DIGITALES”

Fecha de examinación: 2014-10-14

RESULTADOS DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Telmo Moreno R. PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Luis López T. DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Marco Santillán G. ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Telmo Moreno R.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: JOSÉ MIGUEL CALLE GALINDO

TÍTULO DE LA TESIS: “IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO PARA EL ANÁLISIS Y SUPERVISIÓN DE LA CORROSIÓN EN TUBERÍAS, MEDIANTE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE SEÑALES ANALÓGICAS Y DIGITALES”

Fecha de examinación: 2014-10-14

RESULTADOS DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Telmo Moreno R. PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Luis López T. DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Marco Santillán G. ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Telmo Moreno R.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que se presenta, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Luis Ernesto Espinosa Velásquez

José Miguel Calle Galindo

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo muy especialmente a mis padres, Alonso Espinosa y Rosa Elena Velásquez, por ser un pilar fundamental en este éxito alcanzado, que a pesar de la existencia de muchas adversidades, supieron nunca bajar sus brazos y brindarme todo el apoyo necesario. Es por eso que todo el sacrificio y futuros logros de ahora en adelante serán siempre por y para ellos.

Luis Ernesto Espinosa Velásquez

Este trabajo de tesis va dedicado a mis queridos padres Hugo Calle y Martha Galindo, quienes fueron un pilar fundamental en todo momento apoyándome física y moralmente para poder culminar mi carrera, sin la ayuda de ellos hubiera sido complicado y desmotivante lograr mi meta. De igual manera se lo dedico a mis hermanas, tíos, amigos por acompañarme y brindarme su ayuda en este bonito y esforzado camino.

José Miguel Calle Galindo

AGRADECIMIENTOS

El más eterno agradecimiento a Dios en primer lugar, y seguidamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por brindarme una oportunidad de estudio y formar en mí, un profesional que dará todo de sí, por hacer quedar en alto el nombre de la institución.

Un agradecimiento especial a todos los que conforma la carrera de Ingeniería de Mantenimiento y a mis amigos que supieron estar conmigo en los buenos y malos momentos.

Luis Ernesto Espinosa Velásquez

Estoy muy agradecido con Dios por guiarme por el buen camino y no dejarme desmallar ante las adversidades que se me presentaron en el transcurso de mi vida.

A mis padres y hermanas quienes desde muy pequeño fueron un sustento fundamental para poder desarrollarme como persona.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrirme sus puertas y por medio de sus docentes brindarme su ayuda y conocimientos en el transcurso de la carrera y terminarla con suma satisfacción.

José Miguel Calle Galindo

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	2
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1 Tuberías utilizadas para los sistemas de agua y vapor.....	4
2.1.1 <i>Tubería de hierro galvanizado (hg)</i>	4
2.1.2 <i>Tubería de acero negro (ASTM A53 GRADO B)</i>	5
2.2 El agua.....	6
2.2.1 <i>Propiedades físicas del agua</i>	6
2.2.2 <i>Propiedades químicas del agua</i>	7
2.2.3 <i>Parámetros del agua potable</i>	7
2.3 La corrosión.....	8
2.3.1 <i>Formas de corrosión (ver anexo A)</i>	8
2.3.2 <i>Factores que inciden en la aparición de la corrosión en tuberías</i>	13
2.3.3 <i>Clasificación de los productos corrosivos</i>	13
2.3.4 <i>Principales tipos de corrosión que se producen en tuberías</i>	15
2.4 Equipos a utilizarse para el análisis y supervisión de la corrosión.....	16
2.4.1 <i>Osciloscopio</i>	16
2.4.2 <i>Equipo de ultrasonido</i>	24
2.5 Tipos de mantenimiento industrial.....	28
a) Mantenimiento correctivo.....	28
b) Mantenimiento preventivo.....	28
c) Mantenimiento predictivo.....	28
2.6 Flujograma de proceso.....	29
2.6.1 <i>Características del flujograma de proceso</i>	29
3. ADQUISICIÓN DE DATOS CON EL EQUIPO	30
3.1 Flujograma de procesos.....	30
3.1.1 <i>Calibración de los equipos</i>	30
3.1.2 <i>Preparar las superficies de las probetas a ser inspeccionadas</i>	40
3.1.3 <i>Proceso de medición</i>	40

4.	ANÁLISIS Y RESULTADOS	58
4.1	Determinación y evaluación de resultados obtenidos.....	58
4.1.1	<i>Determinación de espesores en la zona de corrosión</i>	58
4.1.2	<i>Resultado general de la degradación del material a causa de la corrosión.</i> ..	66
4.2	Determinación del grado de compatibilidad entre los equipos.....	67
4.3	Tipos de corrosión presentados en el estudio.....	68
4.3.1	<i>Corrosión localizada en tuberías</i>	69
4.4	Causas de los fenómenos de corrosión presentados en el estudio.....	74
4.4.1	<i>Causas de la corrosión por picadura</i>	74
4.4.2	<i>Causa de la corrosión por erosión</i>	75
4.4.3	<i>Causas de la corrosión uniforme</i>	76
4.5	Consecuencia de los fenómenos de corrosión.....	77
4.6	Soluciones a los fenómenos de corrosión presentados.....	78
4.7	Mantenimiento para tuberías de hierro galvanizado y acero negro.....	79
4.7.1	<i>Mantenimiento predictivo para tuberías</i>	80
4.7.2	<i>Mantenimiento preventivo para tuberías</i>	80
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
5.1	Conclusiones.....	82
5.2	Recomendaciones.....	82

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

		Pág.
1	Características físicas y químicas de los galvanizados según la norma UNE.....	5
2	Composición química del acero A53.....	6
3	Propiedades mecánicas del acero A53.....	6
4	Estándares para el agua potable.....	7
5	Característica de las probetas.....	43
6	Registro de datos con el equipo de ultrasonido para las probetas de acero negro.....	44
7	Registro de datos con equipo de ultrasonido para las probetas de hierro galvanizado.....	47
8	Registro de datos con el osciloscopio para probetas de acero negro....	49
9	Registro de datos con el osciloscopio para probetas de acero negro....	50
10	Registro de datos con el osciloscopio para probetas de acero negro....	51
11	Registro de datos con el osciloscopio para probetas de acero negro....	52
12	Registro de datos con el osciloscopio para probetas de acero negro....	53
13	Registro de datos con el osciloscopio para probetas de acero negro....	54
14	Registro de datos con el osciloscopio para probetas de acero negro....	55
15	Registro de datos con el osciloscopio para probetas de hierro galvanizado.....	56
16	Registro de datos con el osciloscopio para probetas de hierro galvanizado.....	57
17	Cuadro de degradación en los aceros negros.....	66
18	Cuadro de degradación del hierro galvanizado.....	67
19	Cuadro de compatibilidad para el acero negro.....	67
20	Cuadro de compatibilidad para el hierro galvanizado.....	70
21	Registro de los tipos de corrosión existentes en probetas de acero negro y hierro galvanizado.....	73
22	Tareas de mantenimiento para tuberías de hierro galvanizado.....	81
23	Tareas de mantenimiento para tuberías de acero negro.....	81

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
1	Corrosión uniforme.....	9
2	Formas de corrosión por picadura.....	10
3	Proceso de corrosión por erosión	12
4	Diagrama de bloque de las funciones del osciloscopio digital Tektronix TDS 2022C.....	20
5	Forma de onda disparada.....	20
6	Medidas de onda.....	21
7	Sinusoidal de ciclo múltiple.....	22
8	Sinusoidal de un solo ciclo.....	22
9	Espectro FFT.....	22
10	Osciloscopio Tektronix TDS 2022C.....	23
11	Equipo de ultrasonido Olympus 45mg.....	27
12	Transductor Dual D790-SM.....	30
13	Equipo de ultrasonido Olympus 45mg.....	31
14	Equipo de ultrasonido Olympus 45mg con transductor Dual D790-SM.....	31
15	Proceso de calibración.....	32
16	Probeta de calibración.....	32
17	Calibración del equipo con las probetas.....	32
18	Pasos de calibración.....	33
19	Calibración del equipo con la probeta.....	33
20	Proceso de calibración.....	33
21	Proceso de calibración.....	34
22	Alimentación energética.....	34
23	Botón de encendido.....	35
24	Configuración de fecha y hora.....	35
25	Retorno de la configuración predeterminada.....	35
26	Conexión de las sondas.....	36
27	Autoconfiguración.....	36
28	Forma de onda.....	36
29	Valor de la sonda.....	37
30	Comprobación.....	37
31	Calibración de onda.....	37
32	Desactivación de canales CH1 y CH2.....	38
33	Encendido de canales.....	38
34	Autocalibración.....	38
35	Inicio de autocalibración.....	39
36	Proceso de autocalibración.....	39
37	Autocalibración pasado.....	39
38	Equipo calibrado.....	40
39	Superficie del material corroído.....	40
40	Limpieza de la superficie.....	41
41	Colocación del acoplante.....	41
42	Medición con el transductor.....	41
43	Medición con el osciloscopio.....	42

44	Limpieza de la superficie del material.....	42
45	Medición en curso.....	42
46	Corrosión localizada.....	70
47	Corrosión por picadura.....	71
48	Corrosión por erosión.....	71
49	Corrosión uniforme.....	72
50	Corrosión extrema por picadura.....	75
51	Esquema de la corrosión por erosión.....	75
52	Corrosión uniforme.....	77
53	Degradación de tuberías por causa de la corrosión.....	78

LISTA DE ABREVIATURAS

UNE	Una Norma Española.
EN	European Norm (Norma europea).
ISO	International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización).
ASTM	American Society for Testing Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales).
ERW	Electric Resistance Welded (Soldada con Resistencia Eléctrica).
Psi	Pounds-force per square inch Libra-fuerza por pulgada cuadrada).
MPa	Mega Pascal.
EAP	Empresa de Agua Potable.
OMS	Organización Mundial de Salud.
NTU	Nefelometric Turbidity Unit (Unidades de Turbidez Nefelométricas).
Ph	Potencial hidrógeno.
Ec	Espesor de la zona de corrosión.
En	Espesor nominal.
RMS	Root Mid Square (Raíz Media Cuadrada).
FFT	Fast Fourier Transform (Transformada Rápida de Fourier).
GS	Giga Sampler.
TFT	Trivial File Transfer (Transferencia de Archivos Trivial).
CAL	Calibración de fábrica.
API	American Petroleum Institute (Instituto Americano del Petróleo).
USB	Universal Serial Bus (bus serie universal).
in	Pulgadas.
Hg	Hierro galvanizado.
SA	Sección anódica.
SC	Sección catódica.
CH	Canal.

LISTA DE ANEXOS

- A** Formas de corrosión.
- A 1** Corrosión química.
- A 2** Corrosión electroquímica.
- A 3** Mecanismo de la corrosión por hendidura.
- A 4** Corrosión galvánica.
- A 5** Corrosión bajo tensión.
- A 6** Corrosión por fatiga.
- A 7** Proceso de corrosión por cavitación.
- A 8** Representación esquemática que muestra 2 superficies en contacto.
- A 9** Corrosión intergranular.
- A 10** Corrosión por exfoliación.

- B** Osciloscopio Tektronix TDS 2022C.
- B 1** Muestreo de la señal de entrada en tiempo real.
- B 2** Esquema de muestreo en tiempo equivalente.
- B 3** Ondas sinusoidales.
- B 4** Onda rectangular y cuadrada.
- B 5** Ondas de dientes de sierra y triangular.
- B 6** Onda en escalón y pulsos.
- B 7** Señales periódicas y no periódicas.
- B 8** Señales asíncronas y síncronas.
- B 9** Ondas complejas.

- C** Símbolos para los diagramas.
- D** Flujograma de procesos para determinar los niveles de corrosión.
- E** Muestrario de probetas de acero negro y hierro galvanizado.
- E 1** Medidas del muestrario de probetas.

RESUMEN

La implementación de un equipo para el análisis y supervisión de la corrosión en tuberías, mediante instrumentos de medición de señales analógicas y digitales, aplicada a distintas probetas de tuberías de acero negro y hierro galvanizado, tiene como finalidad determinar el grado de corrosión existente, para ejecutar acciones preventivas de mantenimiento y evitar paros en los procesos productivos, accidentes y costos por reparación.

El estudio se inicia con la obtención de probetas de acero negro y hierro galvanizado donados por la industria, los mismos que se sometieron al análisis de corrosión a través de ultrasonido que genera valores de espesor; y, señales eléctricas visualizadas en forma de onda que se forman en la zona de corrosión. Las ondas generadas por el osciloscopio se interpretan en unidades de voltaje las cuales serán transformadas a milímetros aplicando una ecuación que presenta valores para ser comparados con los obtenidos del ultrasonido, aplicación que permitió comprobar la vialidad y utilidad del estudio mediante un osciloscopio en relación con el proceso de ultrasonido.

Con los valores obtenidos en el estudio se puede determinar el espesor que existe sobre la superficie del material, y mediante ella plantear un plan de mantenimiento preventivo adecuado, a fin de alcanzar al máximo la vida útil del material; comprobando que la utilización del osciloscopio en comparación al ultrasonido es más económico y tiene la misma efectividad, ampliando alternativas de utilización de tecnologías que permitan disminuir costos en el mantenimiento.

ABSTRACT

The implementation of a system for analysis and monitoring of pipes corrosion, by means of instruments of measurement of analog and digital signals, applied to different specimens of black steel and galvanized iron pipes, aims to determine the degree of existing corrosion, run preventive maintenance measures to prevent stoppages in production processes, accidents and cost for repair.

The study begins with obtaining specimens of black steel and galvanized iron donated by the industry, those who were subjected to analysis of corrosion through ultrasound that generates statistics of thickness; and electrical signals displayed wave forms which are formed in the area of corrosion. The waves generated by the oscilloscope are interpreted in units of voltage which will be transformed to millimeters by applying an equation which presents values to be compared with those obtained from the ultrasound, application enabling to check the roads and utility of the study using an oscilloscope in relation to the process of ultrasound.

The derived values obtained in the study can determine the thickness that exists on the surface of the material, and by raising a preventive maintenance plan suitable, in order to achieve the maximum useful life of the material; checked and have the same effectiveness, expand alternatives for the use of technologies that allow to reduce costs in maintenance.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Con el desarrollo tecnológico que existe en la actualidad, se debe encontrar nuevas técnicas para realizar el análisis y supervisión de la corrosión al menor costo posible, pues las industrias no pueden evolucionar si se mantienen en rutinas de mantenimiento que no son acordes para el debido tratamiento de las mismas.

El equipo adquirido sirve para el análisis y supervisión de la corrosión existente en probetas de tuberías de hierro galvanizado como también del acero negro, que son utilizadas en las industrias de nuestro país en el sistema de alimentación de agua y conducción de vapor.

Con el adecuado análisis e interpretación de los problemas que se presentan en tuberías corroídas a través de equipos que miden señales tanto analógicas como digitales, se tendrá un mayor panorama sobre los fenómenos de corrosión, con sus principales causas y consecuencia.

1.2 Justificación

Todo estudiante a fin de conseguir una buena preparación en la carrera de Ingeniería de Mantenimiento necesita la realización de prácticas que corroboren la teoría adquirida en las aulas, por lo cual se ve necesario la implementación de un equipo y muestrario que indique los principales tipos de corrosión que se presentan en los sistemas de distribución de agua y vapor en las industrias.

Los conocimientos teóricos como prácticos adquiridos en las aulas por los estudiantes de la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento son imprescindibles para el desarrollo profesional, por lo cual se analizará en este caso las formas de corrosión existente en las tuberías de hierro galvanizado y acero negro con su respectiva solución para que no exista pérdidas de producción o fugas de caudal en una instalación industrial, dando un avance importante al mantenimiento de tuberías a causa de un fenómeno común, como es la corrosión.

Toda industria tiene en su sistema de producción tuberías de todo tipo, las cuales se encuentran expuestas a distintos ambientes de trabajo que conllevan a un respectivo análisis de corrosión conociendo el incremento de la misma y de acuerdo a los factores que determinan su aparición, para poder mejorar los problemas en la elaboración o fabricación de cualquier producto, sobre todo los costos en la reparación de tuberías.

Para el análisis de los fenómenos presentados en las tuberías corroídas es necesario utilizar distintos equipos y componentes eléctricos para las respectivas mediciones como un osciloscopio y el equipo de ultrasonido, cabe recalcar que el equipo de ultrasonido solo servirá como objeto de referencia y de comprobación para las distintas mediciones que resulten con el osciloscopio.

El estudio se realizará en probetas de tuberías de hierro galvanizado y acero negro que se encuentran en la mayoría de sistemas de alimentación de agua y generación de vapor de las distintas industrias del país, se garantizará el servicio de calidad, cumpliendo con las normas de seguridad y requerimientos de mantenimiento exigidos en procesos productivos.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Implementar un equipo para el análisis y supervisión de la corrosión en tuberías mediante instrumentos de medición de señales analógicas y digitales.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

Establecer un flujograma de procesos para la toma de medidas en probetas de hierro galvanizado y acero negro, con los respectivos equipos a utilizarse.

Analizar las características de las probetas de tuberías de hierro galvanizado y acero negro que son utilizadas en el sistema de alimentación de agua y conducción de vapor en la industria.

Adquirir información de los fenómenos de corrosión existentes en las probetas de hierro galvanizado y acero negro utilizadas en sistemas de alimentación de agua y conducción de vapor.

Establecer una ecuación matemática que permita comparar las mediciones obtenidas entre equipos.

Determinar el nivel de corrosión en las tuberías del sistema de alimentación de agua y conducción de vapor, utilizando probetas de hierro galvanizado y acero negro.

Solucionar los problemas de corrosión existentes en las tuberías de hierro galvanizado y acero negro de los sistemas de alimentación de agua y conducción de vapor, mediante técnicas predictivas que impulsen la conservación de las mismas.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Tuberías utilizadas para los sistemas de distribución de agua y vapor en la industria

Toda empresa sea pública o privada emplea tuberías de hg (hierro galvanizado), y también de acero negro en vista de que estas son las más económicas y resistentes para distintos trabajos de conducción de fluidos (agua) y gases (vapor).

2.1.1 Tubería de hierro galvanizado (hg). Es el hierro que se recubre de una capa de zinc para evitar que se produzca la corrosión en el metal.

La función del galvanizado es proteger la superficie del metal sobre el cual se realiza el proceso.

El galvanizado más común consiste en depositar una capa de zinc (Zn) sobre hierro (Fe); ya que, al ser el zinc más oxidable, menos noble, que el hierro y generar un óxido estable, protege al hierro de la oxidación al exponerse al oxígeno del aire.

Se usa de modo general en tuberías para la conducción de agua cuya temperatura no sobrepase los 60 °C ya que entonces se invierte la polaridad del zinc respecto del acero del tubo y este se corroe en vez de estar protegido por el zinc.

2.1.1.1 Características generales del hierro galvanizado:

- Resistente a la corrosión gracias a la capa de zinc.
- Es de color gris y bastante activo químicamente.
- Conserva las características del hierro de maleabilidad, dureza y resistencia.
- Las tuberías de hierro galvanizado presentan una pérdida de carga mayor que las de cobre debido a la rugosidad de sus paredes.

- En ambientes ácidos la capa de zinc pierde su eficacia y se empieza a producir la corrosión en el metal. (PANCORBO FLORISTÁN, 2011)

Tabla 1. Características físicas y químicas de los galvanizados según la norma UNE

Características físicas			
Norma	Aspecto	Espesor (min)	Adherencia
UNE 37-505-89	Liso, sin discontinuidades y exento de manchas	> 400 gr/m	Función del 0 0 < 50 mm ensayo de doblado
UNE-EN- ISO-1999	Sin ampollas, Rugosidades y zonas no recubiertas. Exento de residuos, grumos.	Función del espesor de acero > 1,5 mm hasta < 3 mm 325gr/m	No es necesario
Características químicas			
Carbono	0,15 %	Potasio	0,03 %
Manganeso	0,60%	Azufre	0,035 %

Fuente:<http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/viewFile/336/384>

2.1.2 Tubería de acero negro (ASTM A53 GRADO B). Las tuberías A 53 están destinadas a aplicaciones mecánicas y de presión, también es aceptable para usos ordinarios en la conducción de vapor, agua, gas y las líneas de aire. Este tipo de tubería es apta para ser soldada así para operaciones de formado tales como enrollado, plegado, y abridamiento.

2.1.2.1 Características del acero negro (ASTM A53 GRADO B). Una de las características de las tuberías de acero negro o hierro negro, es que en contacto con el aire se oxidan cubriéndose con una película de color pardo oscuro muy característica, la forma más práctica de evitarlo es añadirle una protección a la tubería. (PLANO, 2013)

Tabla 2. Composición química del acero negro A53

Composición, %	Tipo S		Tipo E		Tipo F
	Sin costura		Soldada con resistencia eléctrica (ERW)		Soldada a tope en alto horno
	Grado A	Grado B	Grado A	Grado B	Grado A
Carbono, máx.	0.25	0.30	0.25	0.30	0.30
Manganeso	0.95	1.20	0.95	1.20	1.20
Fósforo, máx.	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Azufre, máx.	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Cobre, máx.	0.40	0.40	0.50	0.50	0.40
Níquel, máx.	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Cromo, máx.	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Molibdeno, máx.	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Vanadio, máx.	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08

Fuente: <http://www.spanish.phione.co.uk/products/pipes/a-53>

Tabla 3. Propiedades mecánicas del acero negro A53

	Grado A	Grado B
Resistencia a la tracción, min:	48,000 psi [330 MPa]	60,000 psi [415 MPa]
Fluencia, min:	30,000psi [205 MPa]	35,000psi [240 MPa]

Fuente: <http://www.spanish.phione.co.uk/products/pipes/a-53>

2.2 El agua

El agua es una sustancia abiótica la más importante de la tierra y uno de los más principales constituyentes del medio en que vivimos y de la materia viva.

2.2.1 Propiedades físicas del agua:

- Es un cuerpo líquido.
- Incoloro, inodoro e insípido.
- En grandes cantidades toma una coloración azul-verdosa.
- Su densidad es igual a 1 gr/cm³ cuando se determina a 40°C y al nivel del mar.
- Hierve a la temperatura de 100°C al nivel del mar.
- Su punto de solidificación es de 0°C (forma el hielo).
- Tiene gran poder disolvente por lo que se les llama "disolvente universal".

2.2.2 Propiedades químicas del agua:

- Se combina con metales y no metales dando óxido.
- Se combina con óxidos metálicos y da bases.
- Se combina con óxidos no metálicos y de ácidos oxácidos.
- Se descompone por electrólisis de hidrógeno y oxígeno.
- Para descomponerse por otro procedimiento necesita temperatura superior a 27°C. (HILL, 1999)

2.2.3 Parámetros del agua potable:

Tabla 4. Estándares para el agua potable

Estándares para el agua potable		
CONTAMINANTES	EAP	OMS
Coliformes totales	<5% muestras positivas	0
Turbidez	0.5 – 1.0 NTU	1.0 NTU
Antimonio	6	-
Arsénico	50	-
Asbesto	7x10	-
Bario	2000	-
Berilio	4	-
Cadmio	5	5
Cromo	100	5
Flúor	4000	1500
Mercurio	2	1
Níquel	100	-
Nitrato + Nitrito	10.000	10.000
Selenio	50	10
Talio	2	-
Endrín	2	-
Lindano	0.2	3
Metoxiclor	40	30
Toxafeno	3	-
Trihalometano	100	-
Aluminio	0.5-0.20	0.2
Cloruro	250	250
Color	15 unidades de color	15 unidades de color
Cobre	1.0	1.0
Flúor	2.0	-
Hierro	0.3	0.3
Manganeso	0.05	0.1
Ph	6.5-8.5	6.5-8.5
Sulfato	250	400
Zinc	5.0	5.0
Sólidos disueltos totales	500	1000

Fuente: http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_03_Caracteristicas_del_Agua_Potable.pdf

2.3 La corrosión

La corrosión puede definirse como la reacción química o electroquímica de un metal o aleación con su medio circulante, con el consiguiente deterioro de sus propiedades.

También se ha definido como el deterioro de un material metálico por circunstancias distintas a la acción mecánica.

2.3.1 Formas de corrosión (ver anexo A)

2.3.1.1 Según el medio:

a) Corrosión química. En la corrosión química un material se disuelve en un medio corrosivo líquido y este se seguirá disolviendo hasta que se consuma totalmente o se sature el líquido. (ver anexo A 1)

b) Corrosión electroquímica. Este tipo de corrosión se debe a la actuación de pilas electroquímicas sobre la superficie metálica, en las que el metal sufre disolución en las regiones anódicas. (ver anexo A 2). (HUERTA OTERO, 2012)

2.3.1.2 Corrosión según la forma:

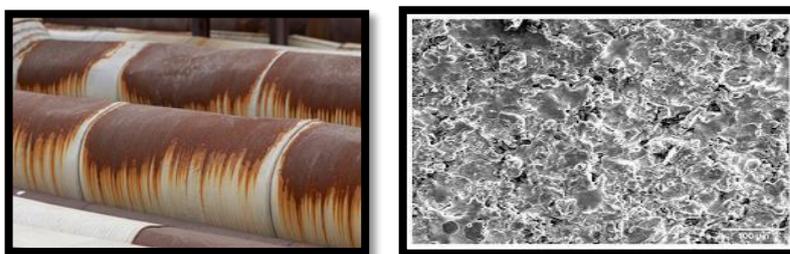
a) Corrosión uniforme. Se caracteriza por el ataque corrosivo que procede de manera uniforme sobre toda la superficie o una gran fracción de la misma.

El adelgazamiento general se lleva a cabo hasta que se produzca la rotura o fisura del material.

Esta es la más importante forma de corrosión, sin embargo, la corrosión uniforme es relativamente fácil de medir y predecir, provocando raramente que exista cualquier tipo de fisura o rotura del material, en vista de que dicho tipo de corrosión es relativamente fácil de detectar a simple vista.

El colapso de los sistemas de recubrimiento de protección en las estructuras a menudo conduce a estas formas de corrosión.

Figura 1. Corrosión uniforme



a) Superficie del metal corroído

b) Microestructura del material

Fuente: <http://www.quiminet.com/articulos/la-corrosion-de-tuberias-enterradas-y-de-tuberias-expuestas-al-aire-14254.htm>

b) Corrosión localizada:

Corrosión por picadura. La corrosión por picaduras es una forma localizada de la corrosión por cavidades o agujeros, que se producen en el material. Las picaduras se consideran ser más peligrosas que los daños por corrosión uniforme, ya que es más difícil de detectar y predecir.

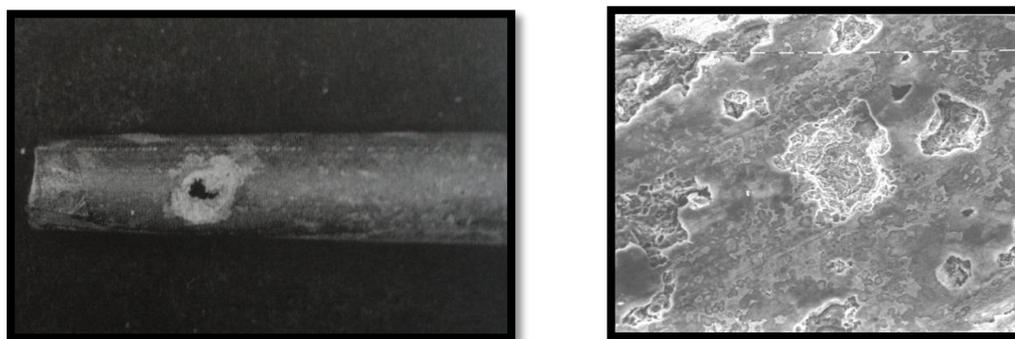
Los productos de corrosión a menudo cubren los hoyos. Un pequeño pozo angosto en el metal en general puede conducir a la falla de un sistema de ingeniería total, la corrosión por picadura por ejemplo es casi un denominador común de todos los tipos de ataque de la corrosión localizada, estos pueden asumir diferentes formas como lo indica la figura 2.

La corrosión por picadura puede producir agujeros cuando esta descubierto o también cuando están cubiertos por un producto semipermeable de la corrosión.

Los agujeros pueden ser de forma semiesférica o de copa. En algunos casos, sobre la pared se revela la estructura cristalina del metal, o puede tener una forma completamente irregular.

La corrosión por picadura aparece cuando las áreas discretas de un material se someten a ataques rápidos, mientras que la mayor parte de la superficie adyacente permanece casi independiente. Dicha localización del anódico y los procesos de corrosión catódica se caracterizan por la proporción del área superficial (SA-SC) para estos dos procesos, donde SA y SC son las áreas de apoyo respectivamente. (PIRRE R., 1999)

Figura 2. Formas de corrosión por picadura



a) Consecuencia de la picadura

b) Microestructura sobre el material

Fuentes: <http://slideplayer.es/slide/144737/>

Corrosión en hendiduras. Esta forma de corrosión es un intenso ataque local dentro de las grietas o áreas blindadas en las superficies del metal, expuestas a soluciones corrosivas. (Ver anexo A 3) (PIRRE R., 1999)

Corrosión galvánica. La llamada corrosión galvánica o corrosión bimetalica tiene lugar cuando dos metales disimilares aparecen en contacto eléctrico entre si y en presencia de un medio agresivo en el que pueda tener lugar el mecanismo electroquímico de la corrosión. (Ver anexo A 4) (HUERTA OTERO, 2012)

2.3.1.3 Corrosión según la causa. Este tipo de corrosión se subdivide en fenómenos de fractura y en ataque a altas temperaturas.

a) Fenómenos de fractura. En ingeniería, y en especial, en ciencia de los materiales, la fatiga de los mismos se refiere a un fenómeno por el cual la rotura de los materiales bajo cargas dinámicas cíclicas se produce más fácilmente que con cargas estáticas.

Corrosión bajo tensión (estático). El fenómeno de agrietamiento por corrosión bajo tensión, es típico de aleaciones, fundamentalmente las pasivables (aparece muy poco en los metales de alta pureza), y se caracteriza, por la aparición de grietas que avanzan en dirección aproximadamente normal a la de la aplicación de la tensión. (Ver anexo A5)

Corrosión por fatiga (dinámico). La fatiga no es una forma de corrosión porque no hay pérdida de metal, pero puede ser asociado con otras formas de ataque localizado. Dado que la fatiga es un fenómeno, el término más apropiado de interpretación es la fatiga

por corrosión o agrietamiento del medio ambiente, que es la expresión moderna y tiene en cuenta el agrietamiento donde el factor corrosivo ha jugado un papel importante en la morfología de la grieta. (Ver anexo A 6) (HUERTA OTERO, 2012)

b) Ataque a altas temperaturas. La corrosión a altas temperaturas es una forma de corrosión que no requiere la presencia de un electrolito líquido. En la mayor parte de los ambientes industriales, la oxidación a menudo participa en las reacciones de corrosión a altas temperaturas, independientemente del modo predominante de corrosión. Las aleaciones a menudo dependen de la reacción de oxidación para desarrollar una capa protectora que resista los ataques de corrosión tales como sulfuración, carburización y otras formas de ataque a altas temperaturas.

Escalado. Se denomina corrosión por escalado o encaramado a la forma de corrosión causada por distintos modos de degradación como la sulfatación y la carburación, toma el nombre de escalado porque es provocada paulatinamente por el cambio de temperatura, pero dicho cambio tiene la característica de ser progresivo, por lo que el deterioro o pérdida del material también toma esa forma.

Ataque interno. La corrosión por ataque interno es una de las formas de corrosión más dañinas que se puede encontrar en un medio, puesto que se forma en el interior del material y no puede ser observado en las distintas superficies de dicho material, aparece inesperadamente con la destrucción total de dicho material, lo que provoca o es la causa fundamental de que en el caso de Ingeniería de Mantenimiento tengamos tareas de mantenimiento correctivo. (PIRRE R., 1999)

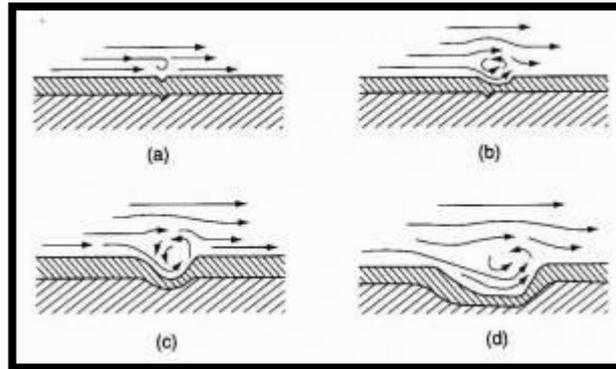
2.3.1.4 Corrosión según el resultado:

a) Fenómenos de velocidad:

Corrosión por erosión. Se denomina así al deterioro causado por fluidos, fundamentalmente líquidos, con o sin sólidos en suspensión, que se desplazan por encima de un cierto valor umbral de velocidad sobre una superficie metálica. El ataque crece al aumentar la velocidad del fluido, y se debe al levantamiento por erosión, de capas protectoras, e incluso de material metálico, como consecuencia del impacto de múltiples de partículas de líquido, o sólido, si es que el fluido lo contiene.

La corrosión por erosión prospera en condiciones de alta velocidad, turbulencia, choque, etc., y frecuentemente se observa en impulsores de bombas, agitadores y en codos y cambios de dirección de tuberías. Los líquidos con suspensión conteniendo partículas sólidas duras que pueden igualmente causar este tipo de problema. (HUERTA OTERO, 2012)

Figura 3. Proceso de corrosión por erosión (mecanismo de turbulento remolino de aguas)



Fuente: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2012/07/24/9-principios-de-corrosion/>

Corrosión por cavitación. El fenómeno de corrosión por cavitación se produce cuando un elemento metálico aparece en contacto con líquidos, y está sometido a golpes debido a la velocidad del líquido o gas que se encuentra en conducción. Cabe recalcar que la corrosión por cavitación se produce en los accesorios y no en los tramos de tuberías. (Ver anexo A 7)

Corrosión por fricción. Se utiliza este término (fretting-corrosión) para referirse al deterioro que se produce en la intercara entre dos superficies en contacto, una de ellas, al menos, metálica, en contacto con aire con un cierto grado de humedad, cuando tiene lugar un desplazamiento relativo, aunque sea mínimo, de una respecto a la otra.

Este desplazamiento suele ser de muy pequeña magnitud y originado, generalmente, por vibraciones. (Ver anexo A 8) (HUERTA OTERO, 2012)

b) Ataque producido:

Corrosión intergranular. Se define como corrosión intercrystalina o corrosión intergranular al grado de desintegración electroquímica que se produce en los límites de

grano de un metal, como consecuencia de la pérdida de características debidas al calentamiento generado, por ejemplo, en las zonas de transición de las soldaduras. (Ver anexo A 9)

Retardado. La corrosión retardada, por fisuras o crevice es la que se produce en pequeñas cavidades o huecos formados por el contacto entre una pieza de metal igual o diferente a la primera, o más comúnmente con un elemento no metálico.

Exfoliación. La corrosión por exfoliación es una corrosión subsuperficial que comienza sobre una superficie limpia, pero se esparce debajo de ella y difiere de la corrosión por picadura en que el ataque tiene una apariencia laminar. (Ver anexo A 10) (PIRRE R., 1999)

2.3.2 *Factores que inciden en la aparición de la corrosión en tuberías de hierro galvanizado:*

Para verificar los factores que inciden en la aparición de la corrosión en las tuberías de alimentación de agua y distribución de vapor, se hace énfasis al proceso de fabricación y composición del material, en este caso su principal característica es la durabilidad del material.

La durabilidad de los galvanizados como recubrimientos protectores de la corrosión del acero dependen básicamente de tres factores: la calidad del recubrimiento (espesor), la correcta aleación del elemento galvanizado, y la agresividad del medio al que se encuentren expuestos.

Para la exposición atmosférica la norma ISO 9223, establece distintas categorías de corrosividad que generan diferentes velocidades de corrosión dependiendo de:

- Nivel de humedad.
- Contenido de contaminantes en el aire. (Causas y consecuencias de la corrosión de una tubería de acero galvanizado, 2012)

2.3.3 *Clasificación de los productos corrosivos según su composición y estado físico:*

a) Ácidos. Son los de mayor importancia. Se agrupan en tres tipos dependiendo de su actividad corrosiva:

- Ácidos fuertes. Ionizan rápidamente.
- Ácidos débiles. No ionizan rápidamente.
- Ácidos oxidantes. Ioniza rápidamente y posee la cualidad de acelerar el proceso de corrosión participando en la reacción catódica.

b) Álcalis. Su efecto corrosivo es menor que el de los ácidos. El factor más importante causante de la actividad corrosiva es el ion hidrógeno que se encuentra ausente o en baja concentración en los álcalis.

La reacción más frecuente en su proceso de corrosión es la formación de compuestos complejos, donde el metal corroído se convierte en parte del anión y pueden formarse sales dobles, básicas o hidróxidos dobles. Los ataques de corrosión en los álcalis están localizados.

c) Sales. Según el tipo de sal reaccionarán de una u otra forma con los metales. Se clasifican, dependiendo de su reacción al disolverse con agua en:

- Neutras.
- Neutras de oxidación.
- Ácidas.
- Ácidas de oxidación.
- Básicas.
- Básicas de oxidación.

La corrosividad de las soluciones acuosas de las sales depende de la concentración de la sal, la presencia de agentes oxidantes, de la solubilidad de productos de corrosión y la temperatura.

Las sales ácidas, ácidas de oxidación y básicas, son los agentes más corrosivos existentes.

d) Azufre y sus compuestos. El azufre puede combinarse directamente con los metales y el hidrógeno. En su forma soluble, se encuentra como hidrógeno sulfurado, dióxido de azufre o trióxido de azufre.

El dióxido de azufre es el más activo, como producto corrosivo en la atmósfera.

e) Haluros. Tienen una elevada afinidad electrónica de ahí que sean altamente reactivos. Su corrosividad aumenta con la presencia de humedad, a temperatura ambiente. El elemento más reactivo es el fluoruro.

f) Compuestos orgánicos. Estos tipos de compuestos no suelen ser corrosivos activos. Su acción corrosiva va asociada con la de los contaminantes orgánicos.

Su baja actividad corrosiva se debe a que no se ionizan rápidamente en soluciones acuosas para producir ácidos o bases. No son oxidantes y son poco electrolíticos.

Los compuestos orgánicos de mayor actividad corrosiva son los ácidos orgánicos, los anhídridos y aldehídos, los compuestos halogenados y los compuestos con azufre.

g) Gases. Si están secos, los gases no son corrosivos a temperatura ambiente. Sin embargo, a altas temperaturas son corrosivos, a excepción de los gases nobles.

h) Metales líquidos. La acción de los metales líquidos no implica ninguna reacción química. La importancia del ataque depende de la solubilidad del metal sólido atacado en el metal líquido y del grado de la disolución.

i) Sales licuadas. Su corrosividad aumenta con el tiempo pues se transforman en sales oxidadas con impurezas metálicas.

Estos óxidos reaccionan con las películas de óxido protectoras formando compuestos solubles en sal.

j) Otros productos corrosivos. Los más importantes son las disoluciones del peróxido de hidrógeno. Se considera oxidante cuando su concentración sobrepasa el 60%. (Causas y consecuencias de la corrosión de una tubería de acero galvanizado, 2012)

2.3.4 Principales tipos de corrosión que se producen en tuberías de hierro galvanizado y acero negro:

- Corrosión uniforme.
- Corrosión por picadura.
- Corrosión por erosión.

2.4 Equipos a utilizarse para el análisis y supervisión de la corrosión

Para el análisis y supervisión de la corrosión en las distintas probetas de hierro galvanizado y acero negro, se utiliza el equipo de ultrasonido Olympus 45mg con un transductor dual D790-SM y la vez el software "GageView" que viene conjuntamente con el mismo para determinar los puntos de corrosión en las probetas, y un osciloscopio digital Tektronix TDS 2022C para determinar la forma de onda que se genera en el equipo, y obtener rangos entre voltajes en base a las distintas velocidades de corrosión que se presenta sobre la superficie del material.

2.4.1 *Osciloscopio.* Es un dispositivo de visualización gráfica que permite representar señales eléctricas variables en el tiempo. En la configuración más habitual, el eje vertical representa la tensión que se está midiendo y el eje horizontal representa el tiempo. El osciloscopio adquiere la información de la onda como una serie de muestras discretas que son almacenadas hasta que se acumula en número suficiente de datos para describir la forma de onda, que tras ser reconstruida se muestra en la pantalla. El hecho de que lo que se muestra sea información previamente digitalizada permite que la calidad de la representación y estabilidad, brillo y calidad, sea siempre buena para cualquier señal cuya frecuencia sea menor que la máxima admisible por el muestreo. (Ver anexo B)

2.4.1.1 *Ventajas del osciloscopio digital.* Permite capturar señales que no sean periódicas (eventos que ocurran solo una vez y transitorios). Dado que la información de la onda tiene formato digital (una serie almacenada de valores binarios), puede ser analizada, archivada, impresa o procesada, tanto en el propio osciloscopio como en un ordenador externo.

La onda no necesita ser continua, incluso cuando la señal desaparece, puede seguir siendo mostrada.

2.4.1.2 *Métodos de muestreo del osciloscopio digital.* El proceso de muestreo (sampling) mediante el cual se convierte una porción de la señal de entrada, en un número discreto de valores binarios con el propósito de almacenarlos, procesarlos y representarlos.

a) Muestreo en tiempo real. Mediante esta técnica, el sampler opera a su máxima velocidad para adquirir el mayor número de puntos en un único barrido. Así pues, esta

es la técnica adecuada para medir señales transitorias o de un tipo de disparo. (Ver anexo B1)

b) Muestreo equivalente. Esta técnica está indicada para el caso en el que la señal sea periódica. El hecho de que cada ciclo sea idéntico a los anteriores es aprovechado para reconstruir la señal completa capturando una pequeña parte de la señal en cada periodo. (Ver anexo B2)

2.4.1.3 Comprensión de las formas y medidas de onda del osciloscopio. Un osciloscopio mide ondas de voltaje. Un ciclo de onda es la porción de esta onda que se repite. Una forma de onda es una representación gráfica de la onda. Una forma de onda de voltaje muestra el tiempo en el eje horizontal y el voltaje en el eje vertical. Los contornos de una forma de onda revelan mucho acerca de una señal.

Cada vez que hay una línea horizontal plana, se sabe que no ha habido ningún cambio durante ese tiempo.

Las líneas rectas y diagonales indican un cambio lineal, subida o bajada de voltaje a una velocidad constante.

2.4.1.4 Tipos de onda:

a) Ondas sinusoidales. Es la forma de onda fundamental por varias razones. El voltaje en el enchufe de la pared varía como una onda sinusoidal. Las señales de test producidas por el circuito oscilador de un generador de señal son frecuentemente ondas sinusoidales. (Ver anexo B3)

La mayoría de las fuentes de alimentación de corriente alterna producen ondas sinusoidales.

b) Ondas cuadradas y rectangulares. Una onda cuadrada es un voltaje que aumenta y disminuye (o que sube o baja) a intervalos regulares. Es una onda estándar para verificar amplificadores; los buenos amplificadores aumentan la amplitud de una onda cuadrada con una mínima distorsión. La onda rectangular es como la onda cuadrada, excepto que los intervalos entre tiempos de subida y bajada no son de la misma longitud. Esto es importante cuando se realiza circuitería digital. (Ver anexo B4)

c) Ondas de diente de sierra y triangulares. Resultan de circuitos diseñados para controlar los voltajes linealmente, tales como el barrido horizontal de un osciloscopio analógico, o la exploración de la trama de un televisor. Las transiciones entre niveles de voltaje de estas ondas cambian a una velocidad constante. (Ver anexo B5)

d) Ondas en escalón y pulsos. Un escalón indica un cambio repentino en el voltaje, similar al cambio de voltaje que se vería si se encendiese un interruptor y de igual manera un pulso indica un cambio repentino en el voltaje si se encendiese y apagase un interruptor. (Ver anexo B6)

e) Señales periódicas y no periódicas. Las señales repetitivas se conocen como señales periódicas, mientras que las señales que cambian constantemente se denominan señales no periódicas.

Una imagen fija es similar a una señal periódica, mientras que una imagen en movimiento se puede equiparar a una señal no periódica. (Ver anexo B7)

f) Señales sincronas y asincronas. Cuando existe una relación de tiempo entre dos señales, se dice que dichas señales son sincronas y asincrono es un término utilizado para describir aquellas señales entre las cuales no existe una relación de tiempo. (Ver anexo B8)

g) Ondas complejas. Algunas formas de onda combinan características sinusoidales, cuadradas, de escalón, y pulsos, para producir aspectos de onda que desafían a muchos osciloscopios. (Ver anexo B9)

2.4.1.5 Medición de las formas de ondas. Hay varias maneras de tomar medidas, realizar la medida directamente en pantalla, utilizar los cursores o la medición automática.

a) Medición directa en pantalla. Para tomar medidas de tensión no hay más que multiplicar el número de divisiones verticales por la escala vertical.

b) Cursores. Este método permite realizar medidas moviendo los cursores, que aparecen siempre en pareja, y tomar sus valores numéricos en las lecturas de la pantalla.

Para ajustar las opciones de los cursores se debe pulsar el botón “CURSORES” del panel. De igual manera hay dos tipos de cursores, uno de tensión y otro de tiempo.

c) Medidas automáticas. Es posible presentar hasta dos medidas automáticas al mismo tiempo para una sola forma de onda (o bien, divididas entre las dos formas de onda). El canal correspondiente deberá estar activado para tomar medidas.

El ajuste se realiza pulsando el botón medidas. Se selecciona la fuente (canal de señal de medir) y el tipo de medida.

2.4.1.6 *Tipos de medidas del osciloscopio:*

- Valor eficaz en un ciclo completo de la señal.
- Valor medio de tensión de la señal.
- Período.
- Valor pico-pico.
- Frecuencia.

2.4.1.7 *Características de la forma de onda:*

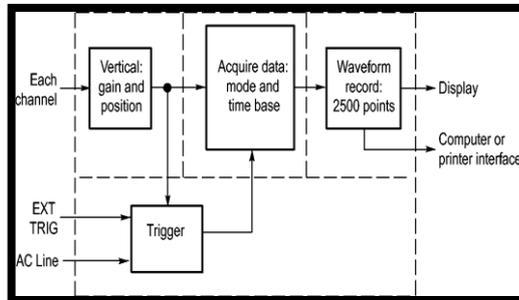
- a)** Voltaje.
- b)** Frecuencia.
- c)** Período.
- d)** Amplitud.

2.4.1.8 *Descripción de las funciones del osciloscopio digital Tektronix TDS 2022C.* Se tendrá una información general sobre lo que es necesario saber antes de utilizar un osciloscopio. Para utilizar el osciloscopio con eficacia, se debe conocer las siguientes funciones:

- Configuración del osciloscopio.
- Disparo.
- Adquisición de señales (formas de onda).
- Escalado y posicionamiento de formas de onda.
- Medida de formas de onda.

En la figura siguiente se muestra un diagrama de bloque de las distintas funciones del osciloscopio y la relación entre ellas.

Figura 4. Diagrama de bloque de las funciones del osciloscopio digital Tektronix TDS 2022C



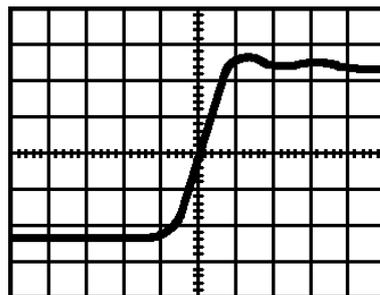
Fuente: Tektronix

a) **Configuración del osciloscopio Tektronix TDS 2022C.** Se debe familiarizar con varias funciones que es posible que se tenga que utilizar a menudo al trabajar con el osciloscopio: autoconfiguración, rango automático, guardado de una configuración y recuperación de una configuración.

- **Uso de la autoconfiguración.** Cada vez que se pulsa el botón autoconfigurar, la función autoconfigurar obtiene una presentación estable de forma de onda. Esta función ajusta automáticamente los parámetros de escala vertical, escala horizontal y disparo.
- **Configuración predeterminada.** El osciloscopio está configurado para el funcionamiento normal cuando se envía de fábrica.

Ésta es la configuración predeterminada. Para recuperar la configuración, se pulsa el botón configuración predeterminada y queda listo para su uso.

Figura 5. Forma de onda disparada



Fuente: Tektronix

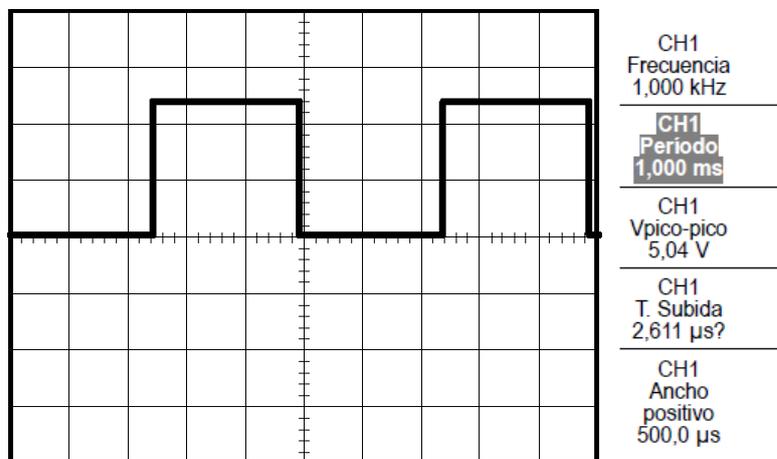
2.4.1.9 Adquisición de señales. Cuando se adquiere una señal, el osciloscopio la convierte en una forma digital y presenta una forma de onda. El modo de adquisición define la manera en que la señal se digitaliza y en que el ajuste de la base de tiempo afecta al margen de tiempo y al nivel de detalle de la adquisición.

2.4.1.10 Escalado y posicionamiento de formas de onda. Puede cambiar la presentación de las formas de onda ajustando la escala y posición. Al cambiar la escala, aumenta o se reduce el tamaño de la presentación de la forma de onda. Al cambiar la posición, la forma de onda se desplaza hacia arriba, hacia abajo, a la derecha o a la izquierda.

2.4.1.11 Medidas de formas de onda del osciloscopio Tektronix TDS 2022C. El osciloscopio muestra gráficos comparativos de voltaje y tiempo que pueden ayudar a medir la forma de onda presentada.

Existen varias maneras de tomar medidas. Puede utilizar la retícula, los cursores o una medida automatizada.

Figura 6. Medidas de onda

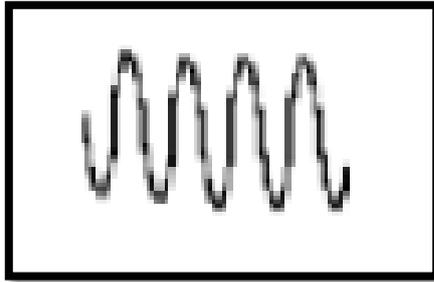


Fuente: Tektronix

2.4.1.12 Tipos de ondas sinusoidales del osciloscopio Tektronix TDS 2022C. Cuando se utiliza la función de autoconfiguración y el osciloscopio determina que la señal es similar a una onda sinusoidal, éste presenta las opciones siguientes:

a) Sinusoidal de ciclo múltiple. Presenta varios ciclos con escalado vertical y horizontal adecuado; el osciloscopio presenta medidas automáticas de RMS de ciclo, frecuencia, período y pico a pico.

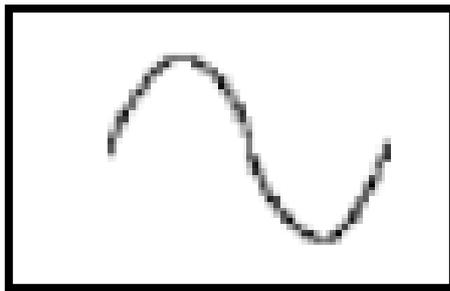
Figura 7. Sinusoidal de ciclo múltiple



Fuente: Tektronix

b) Sinusoidal de ciclo único. Establece la escala horizontal para presentar un ciclo de la forma de onda; el osciloscopio presenta las medidas automáticas de valor medio y de pico a pico.

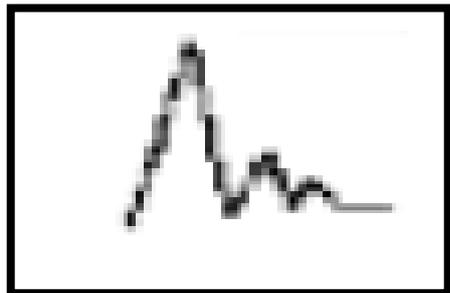
Figura 8. Sinusoidal de un solo ciclo



Fuente: Tektronix

c) FFT. Convierte la señal de dominio de tiempo de entrada en sus componentes de frecuencia y muestra el resultado en forma de gráfico comparativo de frecuencia y magnitud (espectro); como se trata de un cálculo matemático.

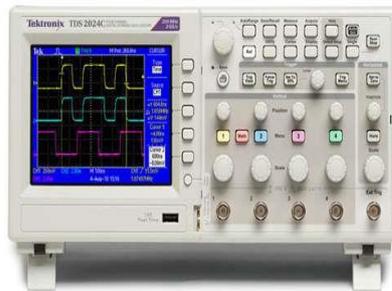
Figura 9. Espectro FFT



Fuente: Tektronix

2.4.1.13 Osciloscopio Tektronix TDS 2022C

Figura 10. Osciloscopio Tektronix TDS 2022C



Fuente: Tektronix

Instrumento de medición eléctrica para la representación gráfica de señales eléctricas que pueden variar en el tiempo. Es muy usado en electrónica de señal, frecuentemente junto a un analizador de espectro. Presenta los valores de las señales eléctricas en forma de coordenadas en una pantalla, en la que normalmente el eje X (horizontal) representa tiempos y el eje Y (vertical) representa tensiones.

a) Características del osciloscopio Tektronix TDS 2022C:

- Ancho de banda de 200 MHz.
- Modelo de 2 canales.
- Hasta la velocidad de muestreo de 2 GS/s en todos los canales.
- k punto longitud de registro en todos los canales.
- Disparo avanzado incluyendo Trigger de ancho de pulso y puede seleccionar la línea de video de Trigger.
- 16 mediciones automatizadas y análisis FFT para simplificado análisis de formas de onda.
- Prueba de límites en la forma de onda.
- Función de registro de datos automático (Data logging).
- Función de autoset en la señal.
- Ayuda contextual integrada.
- Asistente de comprobación de la sonda.
- Interfaz de usuario de varios idiomas.
- Pantalla de color TFT Activa de 5.7 pulg (144 mm).
- Pequeño y ligero – sólo 4,9 pulg (124 mm) de profundo y 4,4 libras (2 kg).
- Conexión a puerto USB. (MANUAL DEL EQUIPO TDS 2022C)

2.4.2 *Equipo de ultrasonido.* La inspección mediante ultrasonido se basa en la detección del eco producido por una grieta o discontinuidad del tipo planar, cuando incide sobre ella una onda sonora de frecuencia ultrasónica. La señal ultrasónica es introducida por un transductor piezoeléctrico, el cual funciona también como detector. El transductor, conocido como “palpador”, se coloca sobre la superficie de la pieza a examinar, mediante un líquido llamado “acoplante”, cuya función es la de proveer un medio de transmisión del sonido entre la superficie de la pieza y del palpador, ya que el aire atenúa fuertemente las vibraciones sonoras. Cuando las ondas sonoras son introducidas en forma perpendicular a la superficie, son de tipo compresivo (producen desplazamientos perpendiculares al frente de propagación de la onda en las partícula del material) y se denominan de haz recto. En cambio, si las ondas ingresan al material en forma inclinada, de tipo cortante (el desplazamiento de las partículas del material es paralelo al frente de onda) y se denomina de haz angular. La selección de un tipo de haz depende de la orientación de los defectos que se esperan detectar con respecto a la superficie por la que ingresa el haz.

La detección se realiza en base a dos parámetros: el primero es el tiempo que tarda en regresar el eco, llamado, “tiempo de vuelo” y que, conociendo la velocidad del sonido en el material de prueba, permite calcular la distancia a la cual se encuentra la discontinuidad que reflejo la onda. Esto permite la medición de espesores, que es una de las principales aplicaciones del ultrasonido.

El segundo parámetro de detección es la energía con que regresa la onda.

Esta energía se mide en decibeles y en un equipo de detección usualmente es presentada como la altura de la señal, mientras que el tiempo es el ancho de la señal; por ello la energía de la señal ultrasónica se refiere como “amplitud”.

El ultrasonido permite detectar discontinuidades superficiales, subsuperficiales e internas, dependiendo del tipo de palpador utilizado y de las frecuencias que varían de 0.25 a 25 MHz. (VALDEZ SALAS, 2013)

2.4.2.1 *Generación del ultrasonido.* La aplicación del ultrasonido como método de ensayo no destructivo, envuelve la utilización de mecanismos que generen y reciban las señales ultrasónicas, como son los palpadores.

Un palpador, es un mecanismo que convierte la energía de una forma a otra, por ejemplo: La energía eléctrica puede ser convertida en energía mecánica y viceversa. La

conversión de energía se realiza en ultrasonido, partiendo de dos fenómenos físicos. (RAMOS, 2011)

2.4.2.2 Clasificación de los palpadores. Se dispone de una diversidad de tipos de palpadores, en los que se apoyan, primordialmente, el gran número de técnicas operatorias actualmente aplicables.

En éste orden de ideas, se pueden clasificar los palpadores en dos grandes grupos:

a) Palpadores de contacto directo. Los palpadores de contacto directo, como su mismo nombre lo indica, se aplican directamente a la superficie de la muestra, con cierta presión, interponiendo en la mayor parte de los ensayos, un medio de acoplamiento.

Según la dirección de propagación del haz, con relación a la superficie de la muestra, estos palpadores de contacto se clasifican, a su vez en: palpadores de incidencia normal, y palpadores angulares.

- *Palpadores de incidencia normal.* Se emplean en los equipos que operan por los métodos de pulso-eco y de resonancia, y se aplican a problemas de defectología, metrología y caracterización.

La mayor parte de estos palpadores llevan incorporados osciladores diseñados para emitir ondas longitudinales.

- *Palpadores angulares.* Los palpadores angulares, de contacto directo, consisten, en esencia, en un oscilador de ondas longitudinales aplicado a una de las caras de un prisma de plástico (generalmente de perspex), tallado con un ángulo de incidencia adecuado al ángulo de refracción, o de penetración, que se desea para un material dado de la muestra de ensayo.

b) Palpadores para inmersión. Los ensayos por inmersión, bien sumergiendo la muestra en un tanque, o mediante el empleo de palpadores de inmersión local, son particularmente indicados cuando se precisa realizar exploraciones de gran volumen y extensión, examinar lotes de gran número de muestras o muestras de formas relativamente complejas. (RAMOS, 2011)

2.4.2.3 Características de los palpadores. En el diseño de palpadores ultrasónicos, deben ser contempladas dos características básicas: resolución y sensibilidad.

a) Resolución. La resolución, o el poder de resolución es la habilidad que presentan para separar o identificar las señales de indicación de varios reflectores diferentes y cercanos, en lo que a profundidad se refiere.

b) Sensibilidad. La sensibilidad de un palpador, es la habilidad para detectar discontinuidades del menor tamaño posible, podemos referirnos, entonces, al tamaño crítico de un "defecto", característica que debe ser suministrada por el fabricante como dato de calibración. (RAMOS, 2011)

2.4.2.4 Propagación de ondas. Al aplicar una fuerza exterior, las partículas superficiales transmitirán la energía recibida a las partículas vecinas; éstas, a su vez, a las partículas siguientes, y así sucesivamente, produciéndose la propagación de la energía exterior a través de todas las partículas del medio.

En otras palabras, las partículas no viajan a través del material desde el origen o la fuente sonora, solamente transmiten la energía producida, que es la que causa la vibración de las partículas; progresivamente avanzará a través del material. (VALDEZ SALAS, 2013)

a) Modos de propagación de las ondas ultrasónicas. Las ondas ultrasónicas pueden ser propagadas de diversos modos, los modos de propagación más comunes son las ondas longitudinales o de compresión, ondas transversales o de cizalladura, ondas superficiales o de Rayleigh y otros varios modos agrupados bajo la denominación de ondas de Lamb.

- Ondas longitudinales o de compresión.
- Ondas transversales o de cizalladura.
- Ondas de superficie o de Rayleigh.
- Ondas de Lamb.

2.4.2.5 Equipo de ultrasonido Olympus 45mg

El equipo de ultrasonido Olympus 45mg es un medidor de espesores por ultrasonidos avanzado que cuenta con características de medición estándares y opciones de software.

Figura 11. Equipo de ultrasonido Olympus 45mg



Fuente: Olympus

Este equipo es único ya que es compatible con la gama completa de palpadores monocristales o duales de Olympus, lo cual hace de este equipo innovador una solución "todo en uno" para todo tipo de aplicaciones de medición de espesor.

a) **Características del equipo de ultrasonido.** El equipo de ultrasonido Olympus 45mg, en su configuración básica, representa un medidor de fácil uso que requiere de una capacitación mínima para su utilización en la mayoría de las aplicaciones de medición de espesor. No obstante con las opciones software y palpadores adicionales, alcanza un nivel significativamente más avanzado en comparación con un medidor de espesores típico. Además, la mayoría de las opciones pueden adquirirse individualmente junto con el equipo o pueden adquirirse posteriormente según sus necesidades.

Compatibilidad con la gama completa de palpadores duales de Olympus para mediciones de espesor en metales corroídos internamente.

- Modos de medición mínimo.
- Modos de medición máximo.
- Dos modos de alarma.
- Dos modos diferenciales.

- Mapeo B-scan (en tiempo).
- Tasa de reducción.
- Ajuste de ganancia (estándar, alta y baja). (MANUAL EQUIPO OLYMPUS 45mg)

2.5 Tipos de mantenimiento industrial:

a) Mantenimiento correctivo. En este tipo de mantenimiento, también llamado mantenimiento “a rotura “, sólo se interviene en los equipos cuando el fallo ya se ha producido. Se trata, por tanto, de una actitud pasiva, frente a la evolución del estado de los equipos, a la espera de la avería o fallo.

b) Mantenimiento preventivo. Hay dos formas de acortar los tiempos de parada: acelerar la reparación o disminuir las paradas no programadas. El mantenimiento preventivo busca el segundo punto, y su objetivo último es que una planta nunca tenga que parar de forma no programada. Para conseguir esto, se hace un estudio de la durabilidad de las diferentes partes de una máquina, equipos o accesorios y se fuerza su reparación o reemplazo antes de que se produzca la avería.

c) Mantenimiento predictivo. El fundamento del mantenimiento predictivo es la toma y valoración de las variables de estado de los equipos y, por ello, genera un gran flujo de datos que necesariamente ha de estar apoyado en los siguientes medios:

- Físicos (hardware).
- De ordenación, organización y gestión (software).
- Personal técnico capacitado.

Los medios físicos son los necesarios para la captura, registro, almacenamiento y manejo de los datos obtenidos de las mediciones periódicas de control de estado. Se pueden considerar dichos medios clasificados en diferentes categorías: accesorios para la medida, sondas, transductores, equipos de adquisición de datos y equipos informáticos para su tratamiento.

Los medios de ordenación y organización son los programas que permiten gestionar y manejar la multitud de datos captados, elaborando, además, informes y gráficos de estado, representativos de las evoluciones de cada máquina como accesorio sometida a mantenimiento.

En cuanto a los medios humanos de un sistema de mantenimiento predictivo hay que considerar tres tipos de personal:

- Personal responsable del mantenimiento general.
- Personal especialista en el mantenimiento predictivo.
- Personal de medida o de rutina. (OLDER, 2013)

2.6 Flujograma de proceso

Un diagrama de flujo o flujograma es la representación gráfica de flujo de un algoritmo o de una secuencia de acciones rutinarias. Se basan en la utilización de diversos símbolos para representar operaciones específicas. Se les llama diagramas de flujo porque los símbolos utilizados se conectan por medio de flechas para indicar la secuencia de la operación.

2.6.1 Características del flujograma de proceso:

- Debe quedar resumido en una sola hoja; los diagramas extensivos dificultan su comprensión y asimilación, por tanto dejan de ser prácticos.
- Los diagramas nos permiten observar todos los pasos de un sistema o proceso sin necesidad de leer notas extensas.
- Permite a quien lo diseña asegurarse que ha desarrollado todos los aspectos del procedimiento.

Los símbolos más utilizados en su elaboración son los siguientes. (Ver anexo D)

CAPÍTULO III

3. ADQUISICIÓN DE DATOS CON EL EQUIPO

Para la adquisición de datos se debe tener un conocimiento de la funcionalidad de los equipos, en nuestro caso se utiliza los equipos de ultrasonido Olympus 45mg y un osciloscopio Tektronix TDS 2022C de 2 canales. Esto garantizará que las medidas obtenidas para el análisis sean las adecuadas y permitan un desarrollo idóneo del presente estudio.

3.1 Flujograma de procesos

La expresión de los procesos en un diagrama de flujo genera valor agregado para la organización o institución, pues la representación gráfica de los mismos permite que sean analizados por los que tienen a su cargo su realización y además por otros actores interesados; quienes podrán aportar nuevas ideas para cambiarlos y mejorarlos. (Ver anexo D)

3.1.1 *Calibración de los equipos:*

a) Calibración del equipo de ultrasonido Olympus 45mg. Para calibrar el equipo de ultrasonido Olympus 45mg se debe realizar los siguientes pasos procurando que el equipo y el transductor no estén conectados al momento de encenderse.

- Limpiar la zona de contacto del transductor Dual D790-SM

Figura 12. Transductor Dual D790-SM



Fuente: Olympus 45mg

- Encender el equipo, pulsando el botón ON de color verde que se encuentra en la parte inferior derecha del equipo.

Figura 13. Equipo de ultrasonido Olympus 45mg



Fuente: Equipo Olympus 45mg

- Conectar el transductor Dual D790-SM al equipo

Figura 14. Equipo de ultrasonido Olympus 45mg con transductor Dual D790-SM



Fuente: Equipo Olympus 45mg

- Pulsar los botones 2nd F y CAL ZERO para que el equipo se calibre automáticamente.

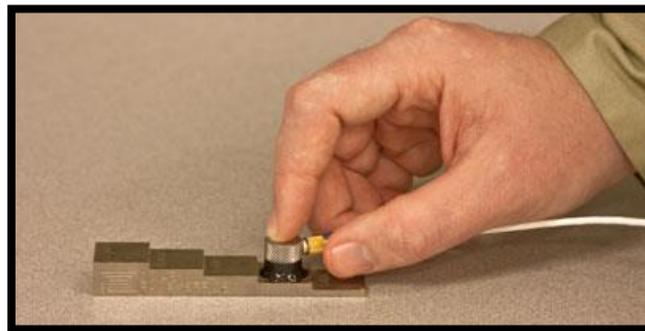
Figura 15. Proceso de calibración



Fuente: Equipo Olympus 45mg

- Diseñar una probeta de acuerdo a la norma ASTM E 797 con los rangos exigidos dependiendo del diámetro de cada tubería.

Figura 16. Probeta de calibración



Fuente: Olympus

- Calibrar la velocidad de propagación más alta y más baja de acuerdo a la probeta diseñada, colocando la glicerina sobre el bloque y el transductor.

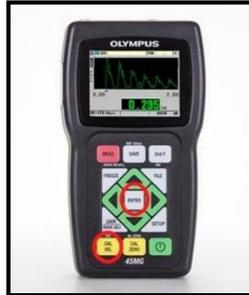
Figura17. Calibración del equipo con las probetas



Fuente: Autores con equipo Olympus 45mg

- Pulsar el botón CAL VEL para definir el espesor máximo y seguido el botón ENTER para guardar el valor obtenido.

Figura 18. Pasos de calibración



Fuente: Equipo Olympus 45mg

- Colocar el transductor en la otra superficie de la probeta para determinar el espesor mínimo.

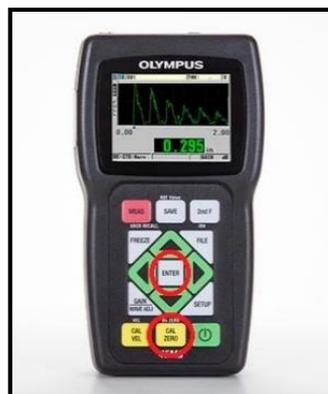
Figura 19. Calibración del equipo con la probeta



Fuente: Autores con equipo Olympus 45mg

- Pulsar el botón CAL ZERO para definir el espesor mínimo y seguido el botón ENTER para guardar el valor obtenido.

Figura 20. Proceso de calibración



Fuente: Equipo Olympus 45mg

- Pulsar el botón MEAS de color rojo para salir y dejar el equipo listo para las mediciones respectivas.

Figura 21. Proceso de calibración



Fuente: Equipo Olympus 45mg

- b) *Calibración del equipo osciloscopio Tektronix TDS 2022C.* Para la calibración del osciloscopio digital Tektronix TDS 2022C, se debe tener un conocimiento del mismo, para realizar los pasos descritos a continuación:
- Conectar el cable de alimentación del equipo a una fuente de 110 voltios.

Figura 22. Alimentación energética



- a) Zona de conexión b) Cable de alimentación c) Equipo conectado

Fuente: Equipo Tektronix TDS 2022C

- Encender el equipo pulsando el botón ON que se encuentra en la parte superior izquierda del equipo.

Figura 23. Botón de encendido



Fuente: Autores con equipo Tektronix TDS 2022C

- Procurar un tiempo de 5 a 10 minutos por seguridad antes de su uso.
- Configurar la fecha y hora del equipo previo a utilizarse.

Figura 24. Configuración de fecha y hora



Fuente: Autores con equipo Tektronix TDS 2022C

- Pulsar el botón configuración predeterminada sin las sondas colocadas en sus puertos para que retome los valores estipulados por el fabricante.

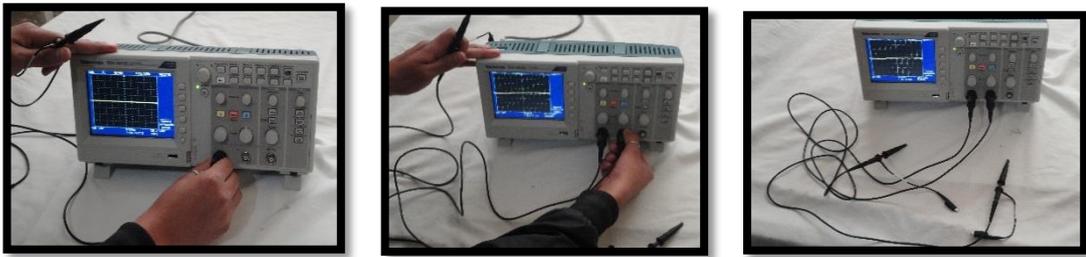
Figura 25. Retorno de la configuración predeterminada



Fuente: Autores con equipo Tektronix TDS 2022C

- Conectar las sondas en los puertos respectivos CH1 y CH2.

Figura 26. Conexión de las sondas

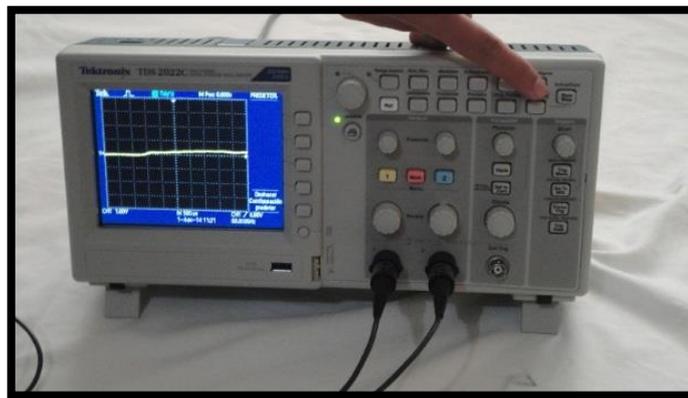


- a) Conexión en CH 1 b) Conexión en CH 2 c) Conexión en CH 1 y CH 2

Fuente: Autores con equipo Tektronix TDS 2022C

- Pulsar el botón autoconfiguración

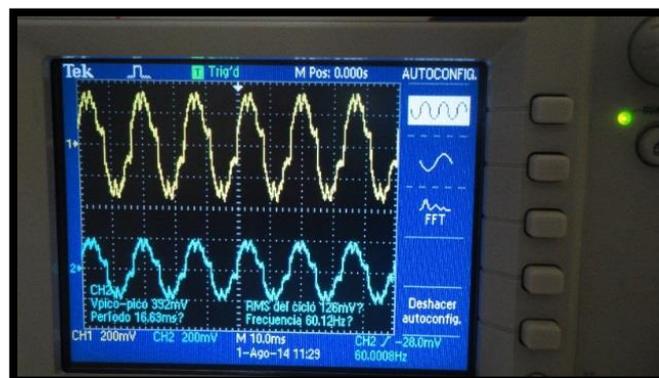
Figura 27. Autoconfiguración



Fuente: Autores con equipo Tektronix TDS 2022C

- Seleccionar el tipo de onda que se va utilizar.

Figura 28. Forma de onda



Fuente: Equipo Tektronix TDS 2022C

- Comprobar el valor de las sondas que sean de 10x, pulsando el botón 1 y 2 de los canales, caso contrario pulsar el botón sonda para ingresar y configurar la atenuación.

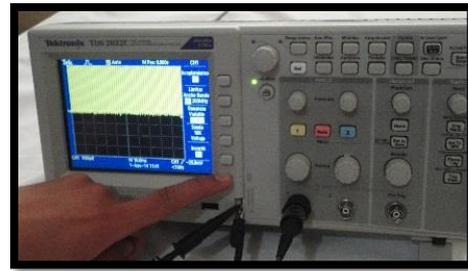
Figura 29. Valor de la sonda



Fuente: Equipo Tektronix TDS 2022C

- Conectar las salidas de la sonda hacia los pines de prueba del equipo y pulsar el botón Probe Check.

Figura 30. Comprobación



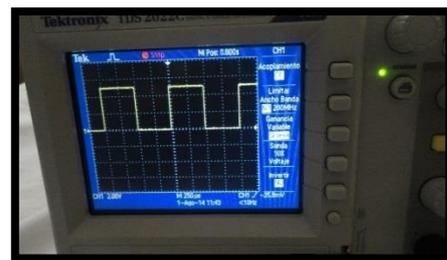
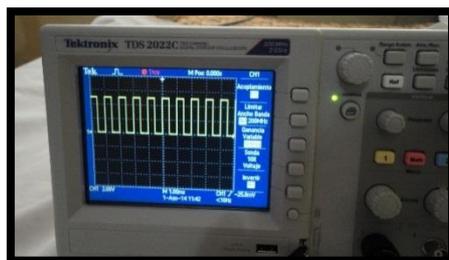
a) Conexión de la sonda a los pines

b) Pulsar botón Probe Check

Fuente: Autores con equipo Tektronix TDS 2022C

- Verificar que la onda este regulada correctamente, caso contrario se la realizará manualmente hasta que se encuentre calibrada.

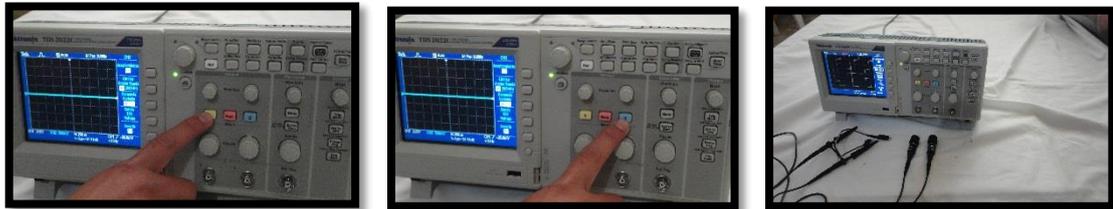
Figura 31. Calibración de onda



Fuente: Equipo Tektronix TDS 2022C

- Desactivar los canales CH1-CH2 y retirar las sondas de los puertos respectivamente.

Figura 32. Desactivación de canales CH1 y CH2



- a) Apagado del CH1 b) Apagado del CH2 c) Desconexión de sondas

Fuente: Autores con equipo Tektronix TDS 2022C

- Encender los canales CH1-CH2 respectivamente.

Figura 33. Encendido de canales



- a) Activación del CH1 b) Activación del CH2

Fuente: Autores con equipo Tektronix TDS 2022C

- Pulsar el botón utilidades, luego pulsar el botón MAS en la pantalla hasta que aparezca la opción auto calibrado y consecuentemente pulsar la misma.

Figura 34. Autocalibración

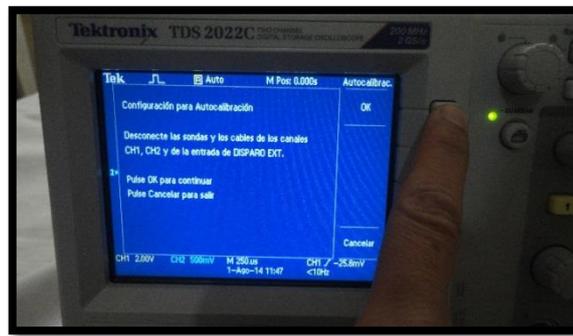


- a) Utilidades b) Botón MAS c) Autocalibración

Fuente: Autores con equipo Tektronix TDS 2022C

- Pulsar el botón OK para continuar o cancelar para salir.

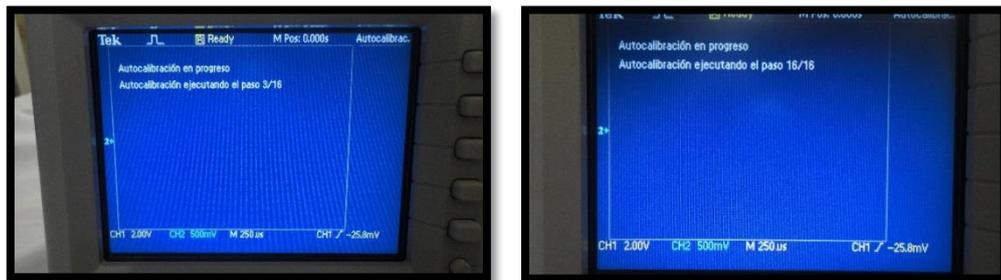
Figura 35. Inicio de autocalibración



Fuente: Autores con equipo Tektronix TDS 2022C

- Esperar 5 minutos hasta que el equipo ejecute el auto calibrado que consta de 16 etapas internas.

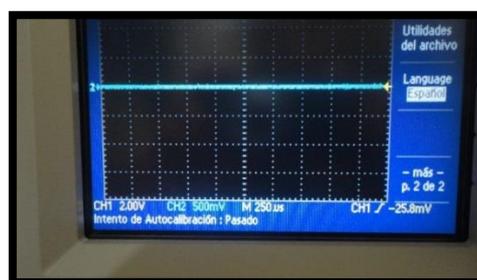
Figura 36. Proceso de autocalibración



Fuente: Equipo Tektronix TDS 2022C

- En la pantalla aparecerá “intento de auto calibración: pasado”, de lo contrario se deberá repetir la acción.

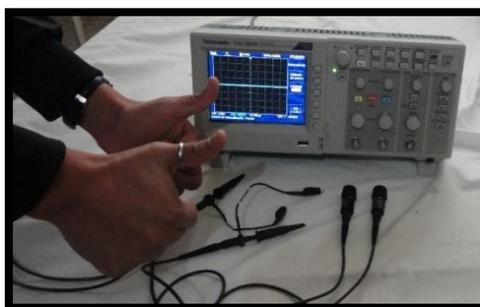
Figura 37. Autocalibración pasado



Fuente: Equipo Tektronix TDS 2022C

- Una vez concluida con el auto calibración el equipo está listo para realizar las mediciones.

Figura 38. Equipo calibrado



Fuente: Autores con equipo Tektronix TDS 2022C

3.1.2 Preparar las superficies de las probetas a ser inspeccionadas

Previo a la preparación determinaremos las características físicas y químicas de las probetas de tuberías de hierro galvanizado y acero negro.

a) Determinar los puntos de corrosión a ser medidos.

Para determinar los puntos de corrosión en las probetas, se lo hará visualmente ya que se puede notar en su superficie el color característico que presenta la misma y el desgaste producto de la corrosión.

Figura 39. Superficie del material corroído



Fuente: Autores

3.1.3 Proceso de medición. Para la medición de las probetas a inspeccionar, anteriormente ya se especificó la calibración del equipo, la limpieza de la zona superficial y determinación de los puntos de corrosión existentes. Entonces se mide con los equipos de ultrasonido y osciloscopio en los puntos de corrosión ubicados.

- Retirar el material sólido o impurezas sobre las superficies de las probetas.

Figura 40. Limpieza de la superficie



Fuente: Autores

- Colocar el material acoplante en la superficie a ser inspeccionada con el equipo de ultrasonido.

Utilizar la glicerina que es ideal para eliminar todo rastro de aire que existe entre el transductor y la tubería a ser analizada.

Figura 41. Colocación del acoplante



Fuente: Autores

- Ubicar el transductor Dual D790-SM en la superficie de la probeta a ser inspeccionada en un ángulo de 90 grados, ejerciendo una presión moderada y firme para tener resultados exactos, luego realizar un barrido superficial en la probeta para detectar los puntos de desgaste de material producto de la corrosión.

Figura 42. Medición con el transductor



Fuente: Autores con el equipo Olympus 45mg

- Almacenar los datos obtenidos por el equipo cuando la lectura este estable.
- Una vez culminado las medidas con el equipo de ultrasonido, se procede con la inspección con el osciloscopio Tektronix TDS 2022C para determinar la forma de onda que se presentan en los puntos de corrosión localizados.

Figura 43. Medición con el osciloscopio



Fuente: Autores con equipo Tektronix TDS 2022C

- Eliminar todo el acoplante (glicerina) utilizado en la superficie de la probeta, pues este elemento puede incidir de manera directa sobre las mediciones y su forma de onda.

Figura 44. Limpieza de la superficie del material



Fuente: Autores

- Ubicar las pinzas de la sonda del osciloscopio en un ángulo de 45 a 90 grados debido a que la lectura que se va tomar sobre la probeta se genera en un punto previamente localizado con el equipo de ultrasonido.

Figura 45. Medición en curso



Fuente: Autores con equipo Tektronix TDS 2022C

- Esperar de 3 a 5 segundos hasta verificar que el valor obtenido sea estable y se procede a pulsar el botón stop, seguido ubicar una memoria USB para guardar la información.

3.1.3.1 Adquisición de medidas. Para nuestro estudio las mediciones se lo realizan en los puntos donde exista la mayor concentración de corrosión debido a que son probetas miden de 120 mm a 150 mm de longitud. En la industria se le debe designar puntos de acuerdo a la longitud total del tramo de la tubería.

Las mediciones que se van a realizar con los equipos de ultrasonido y osciloscopio en las probetas de tubería de hierro galvanizado y acero negro posee las siguientes características físicas.

Tabla 5. Característica de las probetas

Características de las probetas			
Diámetro (in)	Material	Espesor nominal	
		in	mm
1 11/16	Acero negro A56 grado B	5/32	4
2	Acero negro A56 grado B	3/32	2,2
2	Acero negro A56 grado B	23/64	9
3	Acero negro A56 grado B	9/32	7
4 1/16	Acero negro A56 grado B	1/8	3
6	Acero negro A56 grado B	7/32	5,5
10	Acero negro A56 grado B	23/64	9
2	Hierro galvanizado	1/8	3
2 7/16	Hierro galvanizado	1/8	3

Fuente: Autores

3.1.3.2 Registro de datos obtenidos con los equipos de ultrasonido Olympus 45mg y osciloscopio Tektronix TDS 2022C.

Los datos obtenidos con el equipo de ultrasonido Olympus 45mg se guardarán en una carpeta de archivos que se crea en el mismo, aquí se registran las medidas de espesores tomadas en las probetas de hierro galvanizado y acero negro junto con las representaciones de B-SCAN que se generan en las mismas.

De igual manera los datos obtenidos con el equipo del osciloscopio Tektronix TDS 2022C se guardarán en una memoria extraíble USB en el instante en que se realizan las mediciones para cada una de las probetas de hierro galvanizado y acero negro, para luego realizar los análisis de degradación del material.

Tabla 6. Registro de datos con el equipo de ultrasonido para las probetas de acero negro

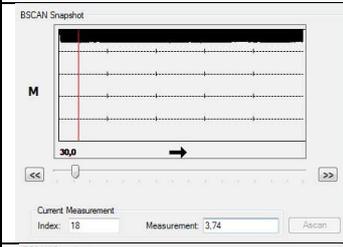
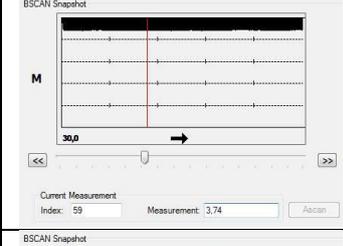
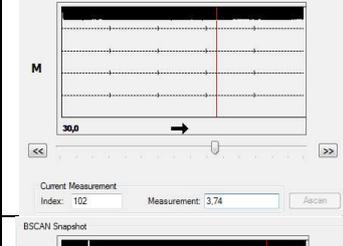
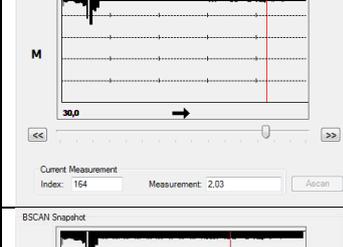
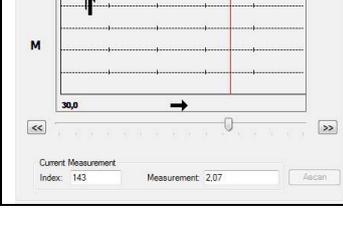
Registro de datos generados por el equipo de ultrasonido probetas de acero negro			
Diámetro de la tubería (in)	Número de medidas	B-scan	Espesor de la tubería (mm)
1 11/16	1		3,74
	2		3,74
	3		3,74
2	1		2,03
	2		2,07

Tabla 6. (Continuación)

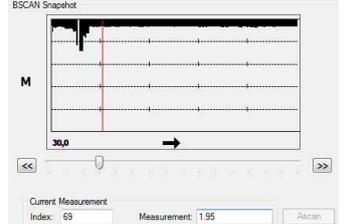
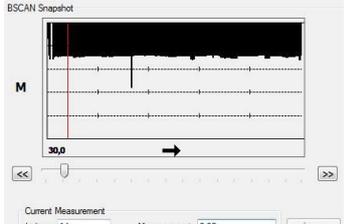
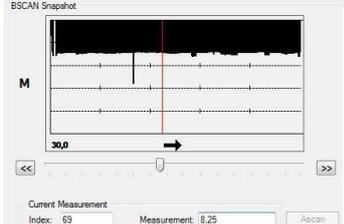
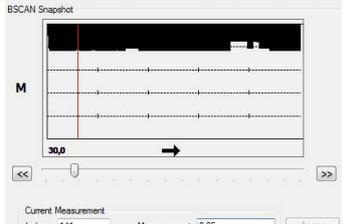
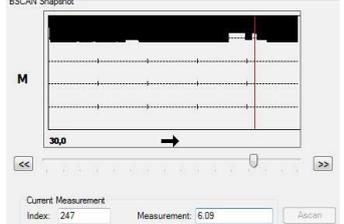
2	3		1,95
2	1		8,30
	2		8,25
	3		8,13
3	1		6,25
	2		6,18
	3		6,09

Tabla 6. (Continuación)

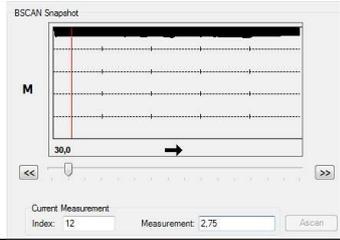
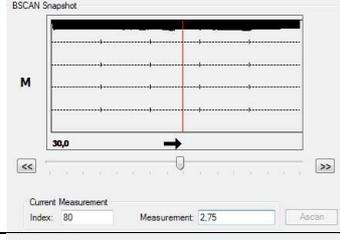
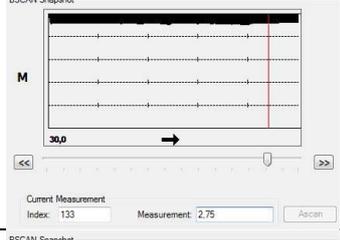
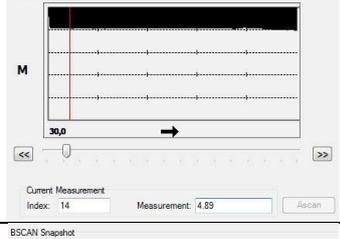
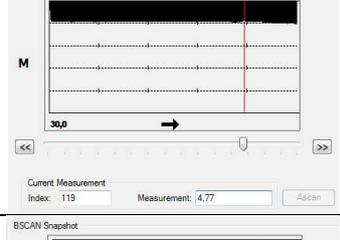
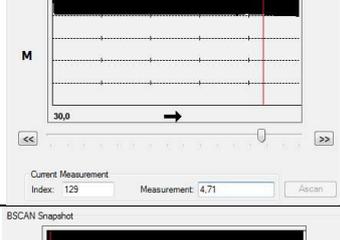
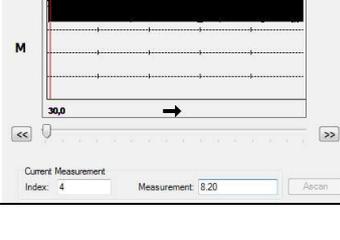
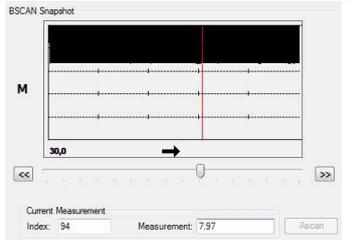
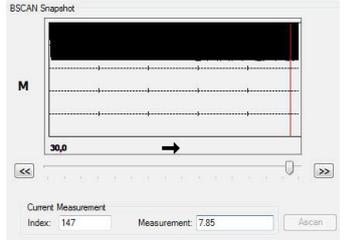
4 ¹ / ₁₆	1		2,75
	2		2,75
	3		2,75
6	1		4,89
	2		4,77
	3		4,71
10	1		8,20

Tabla 6. (Continuación)

10	2		7,97
	3		7,85

Fuente: Autores

A continuación se realizará un cuadro representativo para las probetas de hierro galvanizado, indicando sus respectivos B-scan generado con el barrido por parte del equipo de ultrasonido.

Tabla 7. Registro de datos con el ultrasonido para las probetas de hierro galvanizado

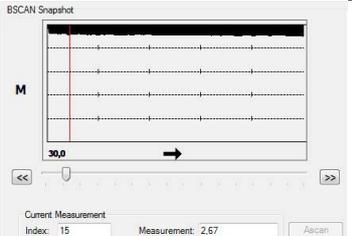
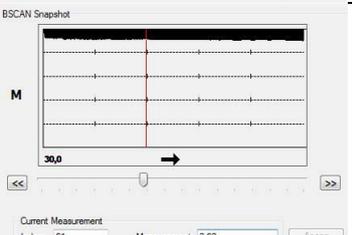
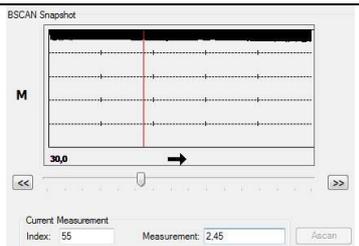
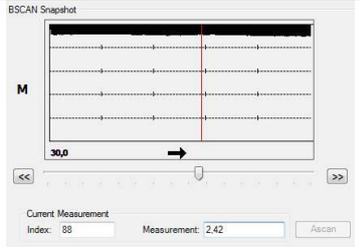
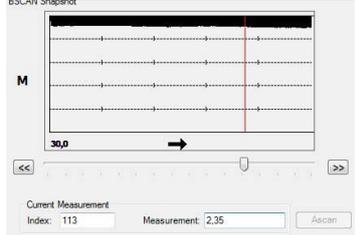
Registro de datos generados por el equipo de ultrasonido probeta de hierro galvanizado			
Diámetro de la tubería (in)	Número de medidas	B-scan	Espesor de la tubería (mm)
2	1		2,67
	2		2,62
	3		2,60

Tabla 7. (Continuación)

$2^{7/16}$	1		2,45
	2		2,42
	3		2,35

Fuente: Autores

En la tabla número 7 al igual que en la tabla número 8 se han registrado todos los valores que se generaron con el equipo de ultrasonido, tanto para el acero negro como para el hierro galvanizado.

Los datos se reflejan en la tabla, con la finalidad de tener una mejor lectura y poder realizar una adecuada interpretación del tipo de corrosión que se encuentra en las probetas que han sido atacadas por los distintos fenómenos de corrosión.

Estos valores que se han presentado por parte del equipo de ultrasonido solamente servirán como valores comparativos para los datos que se generen por parte del osciloscopio.

Una vez concluido con el análisis de espesores con el equipo de ultrasonido se procederá de manera seguida al estudio con el osciloscopio, el cual al ser utilizado, ésta, como cualquier instrumento eléctrico nos dará lecturas en unidades de voltaje (V), que serán calculados para determinar el espesor en milímetros (mm) y en pulgadas (in).

Tabla 8. Registro de datos con el osciloscopio para probetas de acero negro

<p align="center">Registro de datos de la probeta de (1 11/16 in) Espesor nominal de 0,157 in (4 mm)</p>				
<p>Osciloscopio digital Tektronix TDS 2022C</p>	M e d. G e n.	V o l t. M a x.	4,68 V	<p align="center">Forma de onda.</p>
	M E D I D A 1	V o l t a j e	280 Mv	<p align="center">Forma de onda</p>
	M E D I D A 2	V o l t a j e	280 Mv	<p align="center">Forma de onda</p>
	M E D I D A 3	V o l t a j e	280 mV	<p align="center">Forma de onda</p>

Fuente: Autores

Tabla 9. Registro de datos con el osciloscopio para probetas de acero negro

Registro de datos de la probeta de (2 in) Espesor nominal de 0,087 in (2,2 mm)				
Osciloscopio digital Tektronix TDS 2022C	M e d. G e n.	V o l t. M a x.	3,64 V	<p>Forma de onda.</p> <p>Tek ● Stop M Pos: -29.00ms MEDIDAS</p> <p>CH1 Ninguna</p> <p>CH1 Vpico-pico 3.64V</p> <p>CH1 Ninguna</p> <p>CH1 Ninguna</p> <p>CH1 Ninguna</p> <p>CH1 1.00V M 10.0ms CH1 / 0.00V</p> <p>6-Sep-14 11:13 <10Hz</p>
	M E D I D A 1	V o l t a j e	280 mV	<p>Forma de onda</p> <p>Tek ● Stop M Pos: -29.00ms MEDIDAS</p> <p>CH1 Ninguna</p> <p>CH1 Vpico-pico 280mV</p> <p>CH1 Ninguna</p> <p>CH1 Ninguna</p> <p>CH1 Ninguna</p> <p>CH1 1.00V M 10.0ms CH1 / 0.00V</p> <p>6-Sep-14 11:17 <10Hz</p>
	M E D I D A 2	V o l t a j e	200 mV	<p>Forma de onda</p> <p>Tek ● Stop M Pos: -29.00ms MEDIDAS</p> <p>CH1 Ninguna</p> <p>CH1 Vpico-pico 200mV</p> <p>CH1 Ninguna</p> <p>CH1 Ninguna</p> <p>CH1 Ninguna</p> <p>CH1 1.00V M 10.0ms CH1 / 0.00V</p> <p>6-Sep-14 11:20 0.00000Hz</p>
	M E D I D A 3	V o l t a j e	440 mV	<p>Forma de onda</p> <p>Tek ● Stop M Pos: -29.00ms MEDIDAS</p> <p>CH1 Ninguna</p> <p>CH1 Vpico-pico 440mV</p> <p>CH1 Ninguna</p> <p>CH1 Ninguna</p> <p>CH1 Ninguna</p> <p>CH1 1.00V M 10.0ms CH1 / 0.00V</p> <p>6-Sep-14 11:26 <10Hz</p>

Fuente: Autores

Tabla 10. Registro de datos con el osciloscopio para probetas de acero negro

Registro de datos de la probeta de (2 in) Espesor nominal de 0,354 in (9 mm)				
Osciloscopio digital Tektronix TDS 2022C	M e d. G e n.	V o l t. M a x.	10,6 V	Forma de onda.
	M E D I D A 1	V o l t a j e	800 mV	Forma de onda
	M E D I D A 2	V o l t a j e	880 mV	Forma de onda
	M E D I D A 3	V o l t a j e	1,04 V	Forma de onda

Fuente: Autores

Tabla 11. Registro de datos con el osciloscopio para probetas de acero negro

Registro de datos de la probeta de (3 in) Espesor nominal de 0,276 in (7 mm)				
Osciloscopio digital Tektronix TDS 2022C	M e d. G e n.	V o l t. M a x.	6 V	Forma de onda.
	M E D I D A 1	V o l t a j e	640 mV	Forma de onda
	M E D I D A 2	V o l t a j e	720 mV	Forma de onda
	M E D I D A 3	V o l t a j e	800 mV	Forma de onda

Fuente: Autores

Tabla 12. Registro de datos con el osciloscopio para probetas de acero negro

<p align="center">Registro de datos de la probeta de (4 1/16 in) Espesor nominal de 0,118 in (3 mm)</p>				
<p>Osciloscopio digital Tektronix TDS 2022C</p>	<p>M e d. G e n.</p>	<p>V o l t. M a x.</p>	<p>4,88 V</p>	
	<p>Forma de onda.</p>			
	<p>CH1 Ninguna CH1 Vpico-pico 4.88V CH1 Ninguna CH1 Ninguna CH1 Ninguna</p> <p>CH1 2.00V M 10.0ms 6-Sep-14 12:18 CH1 / 0.00V <10Hz</p>			
<p>Osciloscopio digital Tektronix TDS 2022C</p>	<p>M E D I D A 1</p>	<p>V o l t a j e</p>	<p>400 mV</p>	
	<p>Forma de onda</p>			
	<p>CH1 Ninguna CH1 Vpico-pico 400mV CH1 Ninguna CH1 Ninguna CH1 Ninguna</p> <p>CH1 2.00V M 10.0ms 6-Sep-14 12:21 CH1 / 0.00V <10Hz</p>			
<p>Osciloscopio digital Tektronix TDS 2022C</p>	<p>M E D I D A 2</p>	<p>V o l t a j e</p>	<p>400 mV</p>	
	<p>Forma de onda</p>			
	<p>CH1 Ninguna CH1 Vpico-pico 400mV CH1 Ninguna CH1 Ninguna CH1 Ninguna</p> <p>CH1 2.00V M 10.0ms 6-Sep-14 12:22 CH1 / 0.00V <10Hz</p>			
<p>Osciloscopio digital Tektronix TDS 2022C</p>	<p>M E D I D A 3</p>	<p>V o l t a j e</p>	<p>400 mV</p>	
	<p>Forma de onda</p>			
	<p>CH1 Ninguna CH1 Vpico-pico 400mV CH1 Ninguna CH1 Ninguna CH1 Ninguna</p> <p>CH1 2.00V M 10.0ms 6-Sep-14 12:23 CH1 / 0.00V <10Hz</p>			

Fuente: Autores

Tabla 13. Registro de datos con el osciloscopio para probetas de acero negro

Registro de datos de la probeta de (6 in) Espesor nominal de 0,217 in (5,5 mm)				
Osciloscopio digital Tektronix TDS 2022C	M e d. G e n.	V o l t. M a x.	12,6 V	Forma de onda.
	M E D I D A 1	V o l t a j e	1,36 V	Forma de onda
	M E D I D A 2	V o l t a j e	1,68 V	Forma de onda
	M E D I D A 3	V o l t a j e	1,84 V	Forma de onda

Fuente: Autores

Tabla 14. Registro de datos con el osciloscopio para probetas de acero negro

Registro de datos de la probeta de (10 in) Espesor nominal de 0354 in (9 mm)				
Osciloscopio digital Tektronix TDS 2022C	M e d. G e n.	V o l t. M a x.	13 V	Forma de onda.
	M E D I D A 1	V o l t a j e	1,20 V	Forma de onda
	M E D I D A 2	V o l t a j e	1,52 V	Forma de onda
	M E D I D A 3	V o l t a j e	1,68 V	Forma de onda

Fuente: Autores

Tabla 15. Registro de datos con el osciloscopio para probetas de hierro galvanizado

Registro de datos de la probeta de (2 in) Espesor nominal de 0,1181 in (3 mm)				
Osciloscopio digital Tektronix TDS 2022C	M e d. G e n.	V o l t. M a x.	5,6 V	<p>Forma de onda.</p>
	M E D I D A 1	V o l t a j e	640 mV	<p>Forma de onda</p>
	M E D I D A 2	V o l t a j e	720 mV	<p>Forma de onda</p>
	M E D I D A 3	V o l t a j e	800 mV	<p>Forma de onda</p>

Fuente: Autores

Tabla 16. Registro de datos con el osciloscopio para probetas de hierro galvanizado

<p align="center">Registro de datos de la probeta de (2⁷/₁₇ in) Espesor nominal de 0,1181 in (3 mm)</p>				
Osciloscopio digital Tektronix TDS 2022C	M e d. G e n.	V o l t. M a x.	6,8 V	<p align="center">Forma de onda.</p>
	M E D I D A 1	V o l t a j e	1,20 V	<p align="center">Forma de onda</p>
	M E D I D A 2	V o l t a j e	1,36 V	<p align="center">Forma de onda</p>
	M E D I D A 3	V o l t a j e	1,44 V	<p align="center">Forma de onda</p>

Fuente: Autores

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1 Determinación y evaluación de resultados obtenidos

Al realizar las mediciones con el equipo de ultrasonido Olympus 45mg en cada uno de los puntos seleccionados en las probetas de hierro galvanizado y acero negro, se buscará que en cada sección no existan medidas erróneas, para ello se harán varias tomas en las probetas identificando la pérdida de espesor que existe en las paredes. La verificación de mediciones se lo realiza calibrando el transductor en el bloque de mediciones que se tiene elaborado para cada espesor y así determinar la comparación de datos obtenidos anteriormente en los puntos en donde existe la mayor pérdida de material producto de la corrosión.

Así mismo para verificar las mediciones con el osciloscopio Tektronix TDS 2022C se limpiará la superficie que se encuentra con el material acoplante (glicerina) y se harán varias mediciones para comprobar la información obtenida.

Para la obtención de los datos en cada una de las mediciones con el equipo de ultrasonido Olympus 45mg es necesario utilizar el software Gageview, el cual nos da un registro de toda la información obtenida.

Una vez culminado con el proceso de medición de las probetas con los respectivos equipos se procederá a realizar una determinación del nivel de corrosión para lo cual se utilizará los datos obtenidos previamente.

4.1.1 *Determinación de espesores en la zona de corrosión.* Para determinar el espesor en la zona de corrosión se utilizará la siguiente ecuación, que determina el grado de corrosión que existe sobre la superficie del material.

$$Ec = \frac{Volt.(V) \times En}{Volt.max.} \quad (1)$$

Ec = Espesor de la zona de corrosión

Volt. = Voltaje generado por el material en la zona corroída

En = Espesor nominal

Volt. Max. = Voltaje máximo generado por el material libre de corrosión

ACERO NEGRO A56 GRADO B

ESPESOR PARA LA PROBETA DE (1 11/16 in)

DATOS:

En = 4 mm

V1 = 280 mV

V2 = 280 mV

V3 = 280 mV

Volt. Máx. = 4,68 V

Ec1 = ?

Ec2 = ?

Ec3 = ?

$$Ec_1 = \frac{Volt.(V) \times En}{Volt.max.} ; Ec_1 = \frac{0,280 V \times 4 mm}{4,68 V} = 0,239 mm$$

$$Ec_2 = \frac{Volt.(V) \times En}{Volt.max.} ; Ec_2 = \frac{0,280 V \times 4 mm}{4,68 V} = 0,239 mm$$

$$Ec_3 = \frac{Volt.(V) \times En}{Volt.max.} ; Ec_3 = \frac{0,280 V \times 4 mm}{4,68 V} = 0,239 mm$$

Ec1 = 0,239 mm

Ec2 = 0,239 mm

Ec3 = 0,239 mm

ESPEJOR PARA LA PROBETA DE (2 in)

DATOS:

$$E_n = 2,2 \text{ mm}$$

$$V_1 = 280 \text{ mV}$$

$$V_2 = 200 \text{ mV}$$

$$V_3 = 440 \text{ mV}$$

$$\text{Volt. Max.} = 3,64 \text{ V}$$

$$E_{c1} = ?$$

$$E_{c2} = ?$$

$$E_{c3} = ?$$

$$E_{c1} = \frac{\text{Volt. (V)} \times E_n}{\text{Volt. max.}} \quad E_{c1} = \frac{0,280 \text{ V} \times 2,2 \text{ mm}}{3,64 \text{ V}} = 0,169 \text{ mm}$$

$$E_{c2} = \frac{\text{Volt. (V)} \times E_n}{\text{Volt. max.}} \quad E_{c2} = \frac{0,200 \text{ V} \times 2,2 \text{ mm}}{3,64 \text{ V}} = 0,120 \text{ mm}$$

$$E_{c3} = \frac{\text{Volt. (V)} \times E_n}{\text{Volt. max.}} \quad E_{c3} = \frac{0,440 \text{ V} \times 2,2 \text{ mm}}{3,64 \text{ V}} = 0,265 \text{ mm}$$

$$E_{c1} = 0,169 \text{ mm}$$

$$E_{c2} = 0,120 \text{ mm}$$

$$E_{c3} = 0,165 \text{ mm}$$

ESPEJOR DE LA PROBETA DE (2 in)

DATOS:

$$E_n = 9 \text{ mm}$$

$$V_1 = 800 \text{ mV}$$

$$V_2 = 880 \text{ mV}$$

$$V_3 = 1,04 \text{ V}$$

$$\text{Volt. Max.} = 10,6 \text{ V}$$

Ec1 = ?

Ec2 = ?

Ec3 = ?

$$Ec_1 = \frac{\text{Volt. (V)} \times En}{\text{Volt. max.}} \quad Ec_1 = \frac{0,800 \text{ V} \times 9 \text{ mm}}{10,6 \text{ V}} = 0,679 \text{ mm}$$

$$Ec_2 = \frac{\text{Volt. (V)} \times En}{\text{Volt. max.}} \quad Ec_2 = \frac{0,880 \text{ V} \times 9 \text{ mm}}{10,6 \text{ V}} = 0,747 \text{ mm}$$

$$Ec_3 = \frac{\text{Volt. (V)} \times En}{\text{Volt. max.}} \quad Ec_3 = \frac{1,04 \text{ V} \times 9 \text{ mm}}{10,6 \text{ V}} = 0,883 \text{ mm}$$

Ec1 = 0,679 mm

Ec2 = 0,747 mm

Ec3 = 0,883 mm

ESPEJOR DE LA PROBETA DE (3 in)

DATOS:

En = 7 mm

V1 = 640 mV

V2 = 720 mV

V3 = 800 mV

Volt. Máx. = 6 V

Ec1 = ?

Ec2 = ?

Ec3 = ?

$$Ec_1 = \frac{\text{Volt. (V)} \times En}{\text{Volt. max.}} \quad Ec_1 = \frac{0,640 \text{ V} \times 7 \text{ mm}}{6 \text{ V}} = 0,746 \text{ mm}$$

$$Ec_2 = \frac{\text{Volt. (V)} \times En}{\text{Volt. max.}} \quad Ec_2 = \frac{0,720 \text{ V} \times 7 \text{ mm}}{6 \text{ V}} = 0,84 \text{ mm}$$

$$Ec_3 = \frac{\text{Volt. (V)} \times En}{\text{Volt. max.}} \quad Ec_3 = \frac{0,800 \text{ V} \times 7 \text{ mm}}{6 \text{ V}} = 0,933 \text{ mm}$$

$$Ec_1 = 0,746 \text{ mm}$$

$$Ec_2 = 0,840 \text{ mm}$$

$$Ec_3 = 0,933 \text{ mm}$$

ESPESOR DE LA PROBETA DE (4 1/16 in)

DATOS:

$$En = 3 \text{ mm}$$

$$V1 = 400 \text{ mV}$$

$$V2 = 400 \text{ mV}$$

$$V3 = 400 \text{ mV}$$

$$\text{Volt. Max.} = 4,88 \text{ V}$$

$$Ec_1 = ?$$

$$Ec_2 = ?$$

$$Ec_3 = ?$$

$$Ec_1 = \frac{\text{Volt. (V)} \times En}{\text{Volt. max.}} \quad Ec_1 = \frac{0,400 \text{ V} \times 3 \text{ mm}}{4,88 \text{ V}} = 0,245 \text{ mm}$$

$$Ec_2 = \frac{\text{Volt. (V)} \times En}{\text{Volt. max.}} \quad Ec_2 = \frac{0,400 \text{ V} \times 3 \text{ mm}}{4,88 \text{ V}} = 0,245 \text{ mm}$$

$$Ec_3 = \frac{\text{Volt. (V)} \times En}{\text{Volt. max.}} \quad Ec_3 = \frac{0,400 \text{ V} \times 3 \text{ mm}}{4,88 \text{ V}} = 0,245 \text{ mm}$$

$$Ec_1 = 0,245 \text{ mm}$$

$$Ec_2 = 0,245 \text{ mm}$$

$$Ec_3 = 0,245 \text{ mm}$$

ESPESOR DE LA PROBETA DE (6 in)

DATOS:

$$E_n = 5,5 \text{ mm}$$

$$V_1 = 1,36 \text{ V}$$

$$V_2 = 1,68 \text{ V}$$

$$V_3 = 1,84 \text{ V}$$

$$\text{Volt. Max.} = 12,6 \text{ V}$$

$$E_{c1} = ?$$

$$E_{c2} = ?$$

$$E_{c3} = ?$$

$$E_{c1} = \frac{\text{Volt. (V)} \times E_n}{\text{Volt. max.}} \quad E_{c1} = \frac{1,36 \text{ V} \times 5,5 \text{ mm}}{12,6 \text{ V}} = 0,593 \text{ mm}$$

$$E_{c2} = \frac{\text{Volt. (V)} \times E_n}{\text{Volt. max.}} \quad E_{c2} = \frac{1,68 \text{ V} \times 5,5 \text{ mm}}{12,6 \text{ V}} = 0,733 \text{ mm}$$

$$E_{c3} = \frac{\text{Volt. (V)} \times E_n}{\text{Volt. max.}} \quad E_{c3} = \frac{1,84 \text{ V} \times 5,5 \text{ mm}}{12,6 \text{ V}} = 0,803 \text{ mm}$$

$$E_{c1} = 0,593 \text{ mm}$$

$$E_{c2} = 0,733 \text{ mm}$$

$$E_{c3} = 0,803 \text{ mm}$$

ESPESORES DE LA PROBETA DE (10 in)

DATOS:

$$E_n = 9 \text{ mm}$$

$$V_1 = 1,20 \text{ V}$$

$$V_2 = 1,52 \text{ V}$$

$$V_3 = 1,68 \text{ V}$$

$$\text{Volt. Max.} = 13,00 \text{ V}$$

Ec1 = ?

Ec2 = ?

Ec3 = ?

$$Ec_1 = \frac{\text{Volt. (V)} \times En}{\text{Volt. max.}} \quad Ec_1 = \frac{1,20 \text{ V} \times 9 \text{ mm}}{13 \text{ V}} = 0,830 \text{ mm}$$

$$Ec_2 = \frac{\text{Volt. (V)} \times En}{\text{Volt. max.}} \quad Ec_2 = \frac{1,52 \text{ V} \times 9 \text{ mm}}{13 \text{ V}} = 1,052 \text{ mm}$$

$$Ec_3 = \frac{\text{Volt. (V)} \times En}{\text{Volt. max.}} \quad Ec_3 = \frac{1,68 \text{ V} \times 9 \text{ mm}}{13 \text{ V}} = 1,163 \text{ mm}$$

Ec1 = 0,830 mm

Ec2 = 1,052 mm

Ec3 = 1,163 mm

HIERRO GALVANIZADO

ESPESOR DE LA PROBETA DE (2 in)

DATOS:

En = 3 mm

V1 = 640 mV

V2 = 720 mV

V3 = 800 mV

Volt. Máx. = 5,6 V

Ec1 = ?

Ec2 = ?

Ec3 = ?

$$Ec_1 = \frac{\text{Volt. (V)} \times En}{\text{Volt. max.}} \quad Ec_1 = \frac{0,640 \text{ V} \times 3 \text{ mm}}{5,6 \text{ V}} = 0,342 \text{ mm}$$

$$Ec_2 = \frac{\text{Volt. (V)} \times En}{\text{Volt. max.}} \quad Ec_2 = \frac{0,720 \text{ V} \times 3 \text{ mm}}{5,6 \text{ V}} = 0,385 \text{ mm}$$

$$Ec_3 = \frac{\text{Volt. (V)} \times En}{\text{Volt. max.}} \quad Ec_3 = \frac{0,800 \text{ V} \times 3 \text{ mm}}{5,6 \text{ V}} = 0,428 \text{ mm}$$

$$Ec_1 = 0,342 \text{ mm}$$

$$Ec_2 = 0,385 \text{ mm}$$

$$Ec_3 = 0,428 \text{ mm}$$

ESPESOR DE LA PROBETA DE (2⁷/16 in)

DATOS:

$$En = 3 \text{ mm}$$

$$V1 = 1,20 \text{ V}$$

$$V2 = 1,36 \text{ V}$$

$$V3 = 1,44 \text{ V}$$

$$\text{Volt. Max.} = 6,8 \text{ V}$$

$$Ec_1 = ?$$

$$Ec_2 = ?$$

$$Ec_3 = ?$$

$$Ec_1 = \frac{\text{Volt. (V)} \times En}{\text{Volt. max.}} \quad Ec_1 = \frac{1,20 \text{ V} \times 3 \text{ mm}}{6,8 \text{ V}} = 0,529 \text{ mm}$$

$$Ec_2 = \frac{\text{Volt. (V)} \times En}{\text{Volt. max.}} \quad Ec_2 = \frac{1,36 \text{ V} \times 3 \text{ mm}}{6,8 \text{ V}} = 0,6 \text{ mm}$$

$$Ec_3 = \frac{\text{Volt. (V)} \times En}{\text{Volt. max.}} \quad Ec_3 = \frac{1,44 \text{ V} \times 3 \text{ mm}}{6,8 \text{ V}} = 0,635 \text{ mm}$$

$$Ec_1 = 0,529 \text{ mm}$$

$$Ec_2 = 0,600 \text{ mm}$$

$$Ec_3 = 0,635 \text{ mm}$$

4.1.2 Resultado general de la degradación del material a causa de la corrosión

Tabla 17. Cuadro de degradación en los aceros negros

Diámetro de la tubería (in)	Voltaje generado	Espesor nominal (En)		Espesor de corrosión (Ec)		Espesor actual (Eo=En-Ec)	
		in	mm	in	mm	in	mm
1 11/16	4,68 V	0,1575	4	0,0000	0	0,1575	4
	0,280 V	0,1575	4	0,0094	0,239	0,1481	3,761
	0,280 V	0,1575	4	0,0094	0,239	0,1481	3,761
	0,280 V	0,1575	4	0,0094	0,239	0,1481	3,761
2	3,64 V	0,0866	2,2	0,0000	0	0,0866	2,2
	0,280 V	0,0866	2,2	0,0067	0,169	0,0800	2,031
	0,200 V	0,0866	2,2	0,0047	0,12	0,0819	2,08
	0,440 V	0,0866	2,2	0,0104	0,265	0,0762	1,935
2	10,6 V	0,3543	9	0,0000	0	0,3543	9
	0,800 V	0,3543	9	0,0267	0,679	0,3276	8,321
	0,880 V	0,3543	9	0,0294	0,747	0,3249	8,253
	1,040 V	0,3543	9	0,0348	0,883	0,3196	8,117
3	6 V	0,2756	7	0,0000	0	0,2756	7
	0,640 V	0,2756	7	0,0294	0,746	0,2462	6,254
	0,720 V	0,2756	7	0,0331	0,84	0,2425	6,16
	0,800 V	0,2756	7	0,0367	0,933	0,2389	6,067
4 1/16	4,88 V	0,1181	3	0,0000	0	0,1181	3
	0,400 V	0,1181	3	0,0096	0,245	0,1085	2,755
	0,400 V	0,1181	3	0,0096	0,245	0,1085	2,755
	0,400 V	0,1181	3	0,0096	0,245	0,1085	2,755
6	12,6 V	0,2165	5,5	0,0000	0	0,2165	5,5
	1,36 V	0,2165	5,5	0,0233	0,593	0,1932	4,907
	1,68 V	0,2165	5,5	0,0289	0,733	0,1877	4,767
	1,84 V	0,2165	5,5	0,0316	0,803	0,1849	4,697
10	13 V	0,3543	9	0,0000	0	0,3543	9
	1,20 V	0,3543	9	0,0327	0,83	0,3217	8,17
	1,52 V	0,3543	9	0,0414	1,052	0,3129	7,948
	1,68 V	0,3543	9	0,0458	1,163	0,3085	7,837

Fuente: Autores

Tabla 18. Cuadro de degradación del hierro galvanizado

Diámetro de la tubería (in)	Voltaje generado	Espesor nominal (En)		Espesor de corrosión (Ec)		Espesor actual (Eo=En-Ec)	
		in	mm	in	mm	in	mm
2	5,6 V	0,1181	3	0,0000	0,0000	0,1181	3,0000
	0,640 V	0,1181	3	0,0135	0,3420	0,1046	2,6580
	0,720 V	0,1181	3	0,0152	0,3850	0,1030	2,6150
	0,800 V	0,1181	3	0,0169	0,4280	0,1013	2,5720
2 ^{7/16}	6,8 V	0,1181	3	0,0000	0,0000	0,1181	3,0000
	1,20 V	0,1181	3	0,0208	0,5290	0,0973	2,4710
	1,36 V	0,1181	3	0,0236	0,6000	0,0945	2,4000
	1,44 V	0,1181	3	0,0250	0,6350	0,0931	2,3650

Fuente: Autores

4.2 Determinación del grado de compatibilidad entre los equipos de ultrasonido Olympus 45mg y osciloscopio Tektronix TDS 2022C.

Tabla 19. Cuadro de compatibilidad para el acero negro

Cuadro de compatibilidad con las probetas de acero negro				
Diámetro de la probeta (in)	Número de tomas	Ultrasonido (mm)	Osciloscopio (mm)	% de compatibilidad entre equipos
1 ^{11/16}	1	3,74	3,761	99,43
	2	3,74	3,761	99,43
	3	3,74	3,761	99,43
2	1	2,03	2,031	99,95
	2	2,07	2,08	99,52
	3	1,95	1,935	99,23
2	1	8,3	8,321	99,75
	2	8,25	8,253	99,96
	3	8,13	8,117	99,84
3	1	6,25	6,254	99,94
	2	6,18	6,16	99,67
	3	6,09	6,067	99,62
4 ^{1/16}	1	2,75	2,755	99,82
	2	2,75	2,755	99,82
	3	2,75	2,755	99,82

Tabla 19. (Continuación)

6	1	4,89	4,907	99,65
	2	4,77	4,767	99,94
	3	4,71	4,697	99,72
10	1	8,2	8,17	99,63
	2	7,97	7,948	99,72
	3	7,85	7,837	99,83

Fuente: Autores

Tabla 20. Cuadro de compatibilidad para el hierro galvanizado

Cuadro de compatibilidad con las probetas de hierro galvanizado				
Diámetro de la probeta (in)	Número de medidas	Ultrasonido (mm)	Osciloscopio (mm)	% de compatibilidad entre equipos
2	1	2,67	2,658	99,55
	2	2,62	2,615	99,81
	3	2,6	2,572	98,92
2 7/16	1	2,45	2,471	99,14
	2	2,42	2,4	99,17
	3	2,35	2,365	99,36

Fuente: Autores

4.3 Tipos de corrosión presentados en el estudio

La mayoría de tuberías de hierro galvanizado y acero negro tanto en el campo industrial como comercial son utilizadas para la conducción de sustancias líquidas como gaseosas.

En el caso de las sustancias líquidas como el agua y sus aditivos, éstas se encuentran formadas por componentes químicos que dependiendo el tipo de uso al que se lo vaya a aplicar, varían los porcentajes de concentración.

Las sustancias químicas que no son beneficiosas para la conducción de líquido en estos tipos de tuberías, pero que son de gran ayuda para la elaboración de cualquier tipo de producto en la industria son entre las más comunes: el cloro, azufre, carbonatos, bicarbonatos, ácidos, cloruros, sales, hidrocarburos entre otras.

Otro factor que afecta externamente a las tuberías en el campo industrial es el ambiente de trabajo al que se encuentran expuestas, debido a que existen partículas contaminantes que circulan o rodean el aire. Estas partículas pueden ser el polvo, la humedad y agentes corrosivos, los cuales se impregnan en la superficie del material provocando que exista una reacción química que a la vez es perjudicial para las tuberías, debido a que éstas se van degradando producto de la formación de la corrosión.

En las tuberías de hierro galvanizado y acero negro se presentan estos tipos de corrosión:

- Corrosión por picadura.
- Corrosión por erosión.
- Corrosión uniforme.

4.3.1 *Corrosión localizada en tuberías.* Este tipo de corrosión se presenta en distintas formas, según sea el motivo de su origen y provoca fallas repentinas que son difíciles de predecir. Dado que es el tipo de corrosión más común en la industria.

La corrosión localizada es un ataque selectivo sobre un metal, que se manifiesta por corrosión en áreas pequeñas, especiales o zonas sobre la superficie del metal en contacto con el ambiente.

El proceso ocurre usualmente bajo condiciones donde la gran parte de la superficie original no se afecta o bien, es atacada pero en grado mucho menor que en los sitios locales.

El tipo más común de corrosión localizada es por picadura, esta origina que el metal afectado se elimine por corrosión de áreas específicas para producir huecos.

La corrosión por picaduras ocurre sobre la superficie del metal en un líquido estancado, en estos casos se le conoce como corrosión por hendiduras, otras veces, cuando existen productos de corrosión o suciedad se le llama corrosión por depósitos.

Cuando hay movimiento el fenómeno se puede presentar como cavitación y corrosión por fricción. (VALDEZ SALAS, 2009)

Figura 46. Corrosión localizada



Fuente: Autores

a) Corrosión por picadura. La corrosión por picadura se caracteriza por un ataque corrosivo extremadamente localizado, es decir que se trata de un ataque que afecta a zonas relativamente pequeñas en comparación con la superficie expuesta.

La corrosión por picadura se presenta en los metales y aleaciones más comúnmente utilizados. El acero enterrado en el suelo, así como en agua de mar, se corroe con formación de picaduras superficiales.

La picadura ocurre por un proceso de disolución local anódica donde la pérdida de metal es aumentada por la presencia de un ánodo pequeño y un cátodo grande y su dimensión es equivalente a décimas de milímetro.

Suele verse en tubería, sobre todo en tubería galvanizada. Las circunstancias que producen este tipo de oxidación son accidentes variados.

Los más importantes son: circulación de agua caliente (superior a 65-70 °C) por tubos galvanizados donde se recubre el interior del tubo de zinc. En estos casos la protección catódica del zinc se invierte.

Otro factor que puede producir este tipo de oxidación es enterrar tubos galvanizados en donde se produce una reacción alcalina que ataca el zinc y también cuando existen iones halógenos como Cl⁻, F⁻, I⁻, y Br⁻ que muchas veces producen ataques localizados en superficies a simple vista homogéneas. (VALDEZ SALAS, 2013)

Figura 47. Corrosión por picadura



Fuente: Autores

b) Corrosión por erosión. Al combinar la acción del ataque químico y la abrasión mecánica o desgaste, como consecuencia del movimiento de un fluido, se origina la corrosión por erosión.

Potencialmente, todas las aleaciones metálicas son susceptibles de experimentar corrosión por erosión en mayor o menor grado. Este tipo de corrosión perjudica especialmente a las aleaciones que se pasiva formando una película superficial protectora; la acción abrasiva puede erosionar la película dejando al descubierto la superficie metálica. La corrosión por erosión se presenta en tuberías, especialmente en codos, ángulos y cambios bruscos de diámetro: posiciones donde el fluido cambia de dirección y suele convertirse en turbulento. Hélices, álaves de turbina, válvulas y bombas son susceptibles de experimentar este tipo de corrosión.

Un procedimiento para apaliar la corrosión por erosión consiste en cambiar el diseño para eliminar los efectos de turbulencia. También existen materiales con elevada resistencia a la corrosión por erosión. Además eliminando las partículas y las burbujas de la disolución, disminuye la posibilidad erosiva. (CALLISTER, 2009)

Figura 48. Corrosión por erosión



Fuente: Autores

c) **Corrosión uniforme.** Esta forma de corrosión se caracteriza por una reacción química o electroquímica que actúa uniformemente sobre toda la superficie del material, por lo que puede considerarse que el espesor de material afectado es uniforme.

Los casos típicos de esta forma de corrosión son la formación de herrumbre en el hierro y el empañado de la plata o estaño.

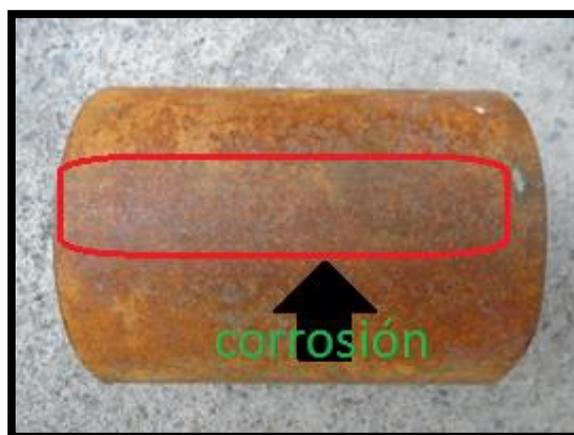
El ataque uniforme se expresa generalmente en mm/año, en g/ (m² día), abreviadamente gmd o bien mg/ (dm²día) abreviadamente mmd, según se refiera a unidades de penetración en el metal o de pérdida de peso, respectivamente.

Según la velocidad a la que se produce el ataque de los metales, estos suelen clasificarse en los tres grupos siguientes:

- *Velocidad inferior a 0.13 mm/año.* Metales que tienen una buena resistencia a la corrosión, por lo que suelen emplearse para la construcción de piezas de importancia.
- *Velocidad entre 0.13 y 1.3 mm/año.* Metales con una resistencia a la corrosión tolerable en algunas aplicaciones, como en tuberías, depósitos, cuerpo de válvulas, etc.
- *Velocidad superior a 1.3 mm/año.* Metales muy poco resistentes a la corrosión.

(VALDEZ SALAS, 2013)

Figura 49. Corrosión uniforme



Fuente: Autores

Tabla 21. Registro de los tipos de corrosión existentes en probetas de acero negro y hierro galvanizado

Especificación de la corrosión presentada en las probetas de hierro galvanizado y acero negro de acuerdo al osciloscopio Tektronix TDS 2022C		
Número	Tipo de corrosión	Especificación
1	Corrosión uniforme	<p>La corrosión uniforme ataca a los materiales de forma continua y progresiva en toda su superficie, presentando las mismas características en toda su área.</p> <p>Se determinó que existe corrosión uniforme debido a que las lecturas presentadas en el osciloscopio marcan valores de voltaje iguales en toda la superficie del material, es decir no existe variación de voltajes.</p>
2	Corrosión por picadura	<p>La corrosión por picadura se da debido a las pequeñas cavidades que se presentan en el material, a causa del ambiente agresivo que se encuentre expuesto la tubería, es decir agentes contaminantes como polvo, ácidos, y partículas que se impregnan en el material y ocasionan un agujero al momento de desprenderse.</p> <p>Se determinó la existencia de la corrosión por picadura debido a que las lecturas de voltaje presentadas en el osciloscopio sufren variaciones considerables, a diferencia de la corrosión uniforme en donde los valores son constantes.</p>
3	Corrosión por erosión	<p>La corrosión por erosión es aquella que ataca al material debido al arrastre de partículas o condensados en donde la velocidad del fluido hace que se desprenda material por la colisión de estos efectos.</p> <p>Se determina la existencia de la corrosión por erosión de manera similar a la corrosión localizada por picadura, es decir de acuerdo a la variación de voltaje, pero cabe recalcar que dicha corrosión se presenta internamente, a pesar de que las lecturas se las tome en la parte superficial del material estas pueden variar sin importar que el área mantenga un aspecto liso y uniforme.</p>

Fuente: Aurotes

4.4 Causas de los fenómenos de corrosión presentados en el estudio

La degradación de una tubería de hierro galvanizado o acero negro que son utilizadas en las grandes, pequeñas y medianas industrias en todo el país y que son de gran importancia para la distribución del agua, gases como el vapor. Son afectadas por los distintos agentes corrosivos como partículas abrasivas, polvo, grasas, aire y entre otras que se provocan tanto en el medio ambiente como en el proceso mismo de distribución.

La acumulación de estas sustancias forma pequeñas pilas galvánicas que eventualmente corroen la superficie del metal.

4.4.1 *Causas de la corrosión por picadura.* Las picaduras se forman en dos etapas denominadas períodos de incubación y crecimiento.

La primera etapa tiene una duración de meses o años y las picaduras en este periodo son tan pequeñas que no pueden detectarse a simple vista.

En la segunda etapa las picaduras crecen hasta hacerse visibles y la velocidad en este caso es mucho mayor que la etapa previa y pueden tener profundidades muy diferentes en toda la superficie del material.

Las picaduras son causadas por un mecanismo similar al de la corrosión por hendiduras, en donde el exceso de cargas positivas en el área de corrosión se produce por la presencia de rayas superficiales.

El exceso de cargas positivas es nuevamente balanceado por la migración de iones cloruros, los cuales junto con los iones de hidrógeno aceleran la velocidad de corrosión en el área.

La tendencia a la corrosión por picadura varía de acuerdo con el material, con la deformación en frío y el acabado superficial.

Los aceros se encuentran entre los materiales que tienen mayor tendencia a la corrosión por picaduras. Y por otra parte, la tendencia a este tipo de corrosión aumenta con el trabajo en frío en algunos medios corrosivos.

Figura 50. Corrosión extrema por picadura



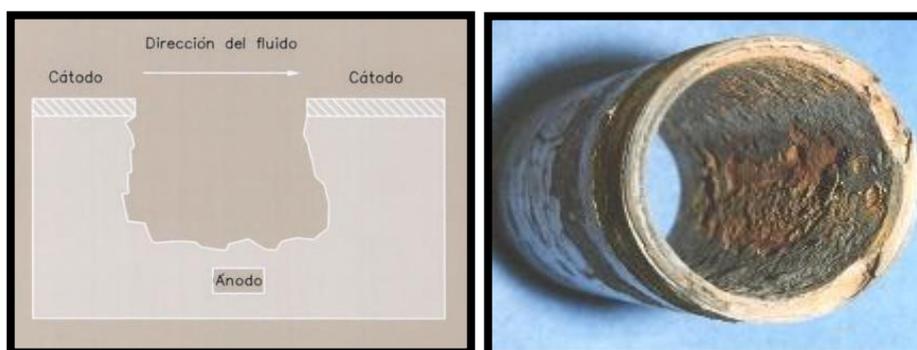
Fuente: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S025407702008000400011&script=sci_arttext

4.4.2 Causa de la corrosión por erosión. En aquellos casos en que existe un movimiento relativo, suficientemente rápido, entre un fluido y la superficie del material, se observa un incremento de la velocidad de corrosión. Se dice, en estos casos, que existe corrosión por erosión.

Estríctamente no es el efecto erosivo del fluido el origen de la corrosión, pero si favorece notablemente el ataque corrosivo. Las causas de ello son:

- El movimiento del fluido renueva el electrólito en la superficie del material reduciendo los efectos de la polarización.
- El movimiento del fluido arrastra los productos de la corrosión, impidiendo que precipiten sobre la superficie metálica y la protejan.
- El desgaste mecánico y abrasivo de la erosión en las superficies hace aparecer agujeros y surcos, en la dirección del movimiento relativo, que aún favorecen más el ataque corrosivo, lo que tiende a hacerlos más profundos.

Figura 51. Esquema de la corrosión por erosión



Fuente: <http://www.indisaonline.8m.com/anteriores/69.htm>

4.4.3 Causas de la corrosión uniforme. El proceso de corrosión uniforme o generalizada se realiza en la interface metal-medio corrosivo, y en ella intervienen los siguientes factores que es necesario considerar:

- *Temperatura.* El aumento de temperatura facilita el proceso de corrosión por los siguientes motivos:
 - a)** El aumento de temperatura en el metal proporciona una mayor energía cinética a sus átomos, lo que debilita la rigidez de la red y facilita los desplazamientos atómicos y, por tanto, la ruptura de enlaces para formar otros nuevos.
 - b)** El aumento de temperatura en el oxígeno molecular (ya sea directamente o por el contacto con el metal caliente) aumenta también su energía cinética, lo que le permite pasar al estado atómico que facilita la reacción para que se produzca la corrosión.
- *Concentración de agentes corrosivos.* Entre los agentes o ambientes corrosivos se encuentran la atmósfera, las disoluciones acuosas, los ácidos, las bases, los disolventes inorgánicos, las sales fundidas, los metales líquidos, y en el último lugar pero no menos corrosivo, el cuerpo humano.

La humedad que contiene oxígeno disuelto es el principal agente corrosivo, pero otras sustancias, tales como compuestos de azufre y cloruro sódico, también contribuyen.

Los metales más comúnmente utilizados en aplicaciones atmosféricas son aleaciones de aluminio, cobre y acero galvanizado.

El agua ambiental presenta gran variedad en cuanto a composición y características corrosivas. El agua dulce contiene oxígeno disuelto y varios minerales que le dan dureza.

El agua por si misma se constituye en electrolito, merced a la disociación de sus iones, por ende se presenta como un conductor eléctrico líquido.

La composición química de los suelos varía enormemente y la agresividad corrosiva también. Las variables del suelo en cuanto a su composición incluyen:

contenido de humedad, oxígeno y sales, alcalinidad, acidez y presencia de ciertos tipos de bacterias.

Figura 52. Corrosión uniforme



Fuente: <http://dc245.4shared.com/doc/gp0yvp6F/preview.html>

4.5 Consecuencia de los fenómenos de corrosión presentados en el estudio

A pesar que las tuberías son una de las formas más seguras y confiables para el transporte de cualquier tipo de líquidos o gases, las empresas o industrias se preocupan constantemente por la seguridad operacional de las mismas, pues saben que un accidente puede causar inmensos daños económicos, sociales, ambientales entre otros.

Uno de los prerequisites para que una tubería continúe operando de forma segura es garantizar un alto nivel de confiabilidad en la integridad estructural del mismo durante su vida útil.

Tal integridad puede estar amenazada por defectos introducidos en la tubería durante el proceso de fabricación, instalación u operación.

Una tubería que se encuentre en estado de corrosión avanzada puede presentar fallos críticos en las mismas, produciendo daños ambientales, paros de producción y/o lesiones al personal de trabajo.

Entre las consecuencias severas producto de tuberías corroídas y que podemos encontrar tenemos:

- Disminución de su diámetro interior o exterior producto del ataque corrosivo ya sea en toda su superficie o parte de ella.
- Contaminación del fluido por la aparición de partículas corroídas que son desprendidas de su superficie, provocando un aumento de la rugosidad del material.
- Fugas de líquido o gas producto del desgaste del material ocurrido por la corrosión.
- Roturas de la tubería, sobre todo en los extremos o uniones a los accesorios debido al cambio brusco de velocidad del fluido, provocando derrames de líquido o contaminación del ambiente si se trata de gas.
- Pérdidas económicas en el campo industrial debido al paro de la producción, al recambio de la tubería, producto de la degradación de la misma.

Figura 53. Degradación de tuberías por causa de la corrosión



Fuente: <http://www.diariolasamericas.com/locales/vecinos-exigen-respuestas-aseguradora-citizens.html>

4.6 Soluciones a los fenómenos de corrosión presentados

Al describir los tipos de corrosión presentados en las tuberías de hierro galvanizado y acero negro se presentarán algunas técnicas más generales para su prevención.

Entre las técnicas para la prevención de la corrosión tenemos la de seleccionar un material adecuado, la disminución de la agresividad corrosiva del ambiente, diseño mejorado, aplicación de recubrimientos y protección catódica.

Quizá la primera y más común precaución a tomar para paliar la corrosión sea seleccionar adecuadamente el material para el ambiente corrosivo caracterizado. Para este fin, las referencias de corrosión estándar son útiles.

Aquí el coste puede llegar a ser un factor significativo. No siempre es económicamente posible utilizar el material que ofrece óptima resistencia a la corrosión, sino que a veces se deben usar otros materiales y/o aplicar otras medidas de protección.

Modificando la agresividad del medio en las que se encuentre elaborando, influye significativamente en la corrosión.

Aplicación de revestimientos de protección como son las pinturas en donde previenen que agentes externos se impregnen al material.

La disminución de la temperatura y/o la velocidad del fluido reducen la velocidad de corrosión. A veces, un aumento o una disminución de la concentración de alguna sustancia de la disolución tiene un efecto positivo, por ejemplo, el metal puede pasivarse.

Los inhibidores son sustancias que, adicionadas al medio en bajas concentraciones, disminuyen la agresividad. El inhibidor específico depende de la aleación y del medio corrosivo. La efectividad de los inhibidores se explica mediante varios mecanismos, algunos reaccionan con las especies químicamente activas de la disolución (tales como oxígeno) y las eliminan.

Para el caso de la tubería de acero negro que van colocadas bajo el suelo, o en contacto con él, que sirven para el transporte a larga distancia de petróleo, gas natural, etc. Obviamente, la corrosión es un problema si el suelo está totalmente mojado, como normalmente lo está, y si la profundidad del suelo no es lo suficientemente grande como para excluir el oxígeno de manera efectiva.

Una forma de proteger la tubería consiste en recubrirla con algún material inerte para evitar el contacto con el agua y el oxígeno, por ejemplo una lámina gruesa de polietileno adherida con un pegamento butílico. Las secciones finales de las tuberías se dejan sin recubrir, preparadas para la soldadura y las soldaduras se las recubre posteriormente.

4.7 Mantenimiento para tuberías de hierro galvanizado y acero negro

Tanto para la tubería de hierro galvanizado y acero negro es necesario conocer algunos factores en donde intervienen los fenómenos de corrosión y para ello se lo enuncia a continuación.

- La temperatura de trabajo para cada tubería que debe ser establecida de acuerdo a los parámetros de resistencia del material.
- Los agentes corrosivos que se encuentran en el ambiente laboral como son la humedad, el polvo, grasas, contaminantes, sales, ácidos etc.
- Dependiendo del tipo de trabajo al que las tuberías están expuestas se realizará el mantenimiento.

Se establece para un adecuado mantenimiento la utilización de 2 técnicas de mantenimiento que van de la mano para obtener resultados óptimos, el mantenimiento predictivo y el mantenimiento preventivo.

4.7.1 *Mantenimiento predictivo para tuberías de acero negro y hierro galvanizado.*

Para un análisis minucioso del comportamiento de las tuberías ante los agentes corrosivos ya anteriormente mencionados, se lo analizarán por medio de equipos predictivos que determinan el nivel de degradación de material, el cual es perjudicial cuando existen grandes presiones ya sea de vapor o de agua, en donde los efectos de ésta provocan una rotura de la tubería, provocando fugas y pérdidas económicas en la industria.

El mantenimiento predictivo se lo aplicará de acuerdo al nivel de criticidad que presente el sistema, dando así a priorizar aquellos que representen un nivel alto en el proceso de producción, que conlleven a un paro inminente si se produce un paro imprevisto por parte de un mantenimiento no planificado.

Al realizar el mantenimiento predictivo se debe tener muy en cuenta la disponibilidad que brinda la industria, es decir, el nivel de inversión que existe por parte de la misma para realizar el estudio. Esto garantizará el grado de efectividad del análisis predictivo.

4.7.2 *Mantenimiento preventivo para tubería de acero negro y hierro galvanizado.*

El mantenimiento preventivo comprende todas las acciones sobre revisiones, modificaciones y mejoras dirigidas a evitar averías dentro de un sistema de tuberías a causa de la corrosión y las consecuencias de estas en la producción.

El mantenimiento preventivo es un pilar fundamental para la industria, en vista de que ésta ayuda a reducir drásticamente los paros imprevistos que se generan por un mal mantenimiento, o por la no implantación de la misma.

Tabla 22. Tareas de mantenimiento preventivo para tuberías de hierro galvanizado

Tareas de mantenimiento preventivo para tuberías de hierro galvanizado	
Número	Tarea
1	Pintado de la superficie
2	Limpieza superficial diaria del sistema crítico
3	Limpieza superficial de sistemas secundarios
4	Flushing en casos de montajes de sistemas nuevos de tuberías

Fuente: Autores

Tabla 23. Tareas de mantenimiento preventivo para tuberías de acero negro

Tareas de mantenimiento preventivo para tuberías de acero negro	
Número	Tarea
1	Limpieza de la superficie en instalaciones nuevas antes de su uso
2	Recubrimiento de tubería con lana de vidrio
3	Cambio del recubrimiento (lana de vidrio)
4	Flushing en caso de montaje de sistemas nuevos de tuberías

Fuente: Autores

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se identificó las características de las probetas de hierro galvanizado y acero negro que son utilizadas en las industrias del país para la distribución de agua y vapor.

Se determinó los tipos de corrosión más comunes existentes en las probetas de tuberías de hierro galvanizado y acero negro, que derivan en la destrucción de una tubería. Esto se lo realizó por medio de un análisis visual a cada probeta, ya que son fenómenos que se lo pueden detectar a simple vista de acuerdo a la forma, coloración y propagación.

Se analizó el porcentaje de degradación de los materiales afectados por el fenómeno de la corrosión, utilizando la ecuación matemática planteada, haciendo una relación entre los valores generados por parte de cada equipo.

Se desarrolló una lista de soluciones para disminuir el porcentaje de corrosión en las tuberías de hierro galvanizado y acero negro de una instalación industrial o comercial y con ello prevenir pérdidas económicas, daños ambientales y daños a la humanidad producto de derrames de líquidos o fuga de gases que en su mayoría son nocivos.

Se realizó una hoja de procesos donde se identifica en cada paso el estudio que va a realizarse para hacer una inspección en tuberías por medio de los equipos de ultrasonido y osciloscopio.

5.2 Recomendaciones

Contar con equipos para inspecciones predictivas de preferencia portátiles para facilitar los estudios que se realicen posteriormente en cualquier empresa.

Utilizar implementos de seguridad para realizar cualquier tipo de estudio o análisis con la finalidad de salvaguardar la integridad.

Crear hábitos de preservación de los activos en la conciencia del personal que se encuentran a cargo de las operaciones de mantenimiento.

Dar mantenimiento a las instalaciones de un sistema de tuberías de acuerdo al nivel de trabajo al que se encuentran expuestas las mismas.

Utilizar inhibidores o ablandadores con la finalidad de desmineralizar el agua y con esto reducir drásticamente agentes corrosivos.

Eliminar inmediatamente los puntos de corrosión que se hacen presentes en la superficie de la tubería de forma prematura.

BIBLIOGRAFÍA

CALLISTER, William. 2009. *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales II*. Barcelona : Reverté S.A., 2009. 978-84-291-7254-8.

Causas y consecuencias de la corrosión de una tubería de acero galvanizado.

SÁNCHEZ, Alexandre. 2012. 266, Sevilla : Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2012, Vol. 52.

CAUTITLÁN, Izcalli. 2010. La Prueba de Ultrasonido. [En línea] 23 de 01 de 2010. http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m6/PRUEBA%20DE%20ULTRASONIDO.pdf.

HILL, Willam & KOLB, Doris. 1999. *Química para el Nuevo Milenio*. New Jersey : Roxana Martín-Lunas, 1999. 0-13-741786-1.

HUERTA OTERO, Enrique. 2012. *Corrosión y Degradación de Materiales*. Madrid : Sintesis S.A., 2012. 978-84-773851-8-9.

OLDER, Felipe. 2013. EUROWON. *Tipos de Mantenimiento Industrial*. [En línea] 28 de 08 de 2013. <http://www.eurowon.com/2013/08/tipos-mantenimiento-industrial.html>.

PANCORBO FLORISTÁN, Francisco J. 2011. *Corrosión, Degradación y Envejecimiento de los Materiales*. Barcelona : 2011 Marcombo, S.A., 2011. 978-84-267-1576-0.

PIRRE R., Roberge. 1999. *Handbook of Corrosion Engineering*. San Francisco : McGraw-Hill, 1999. 0-07-076516-2.

PLANO, José Luis. 2013. *Manual del Cañista Industrial*. Buenos Aires : Alsina, 2013. 978-950-553-233-9.

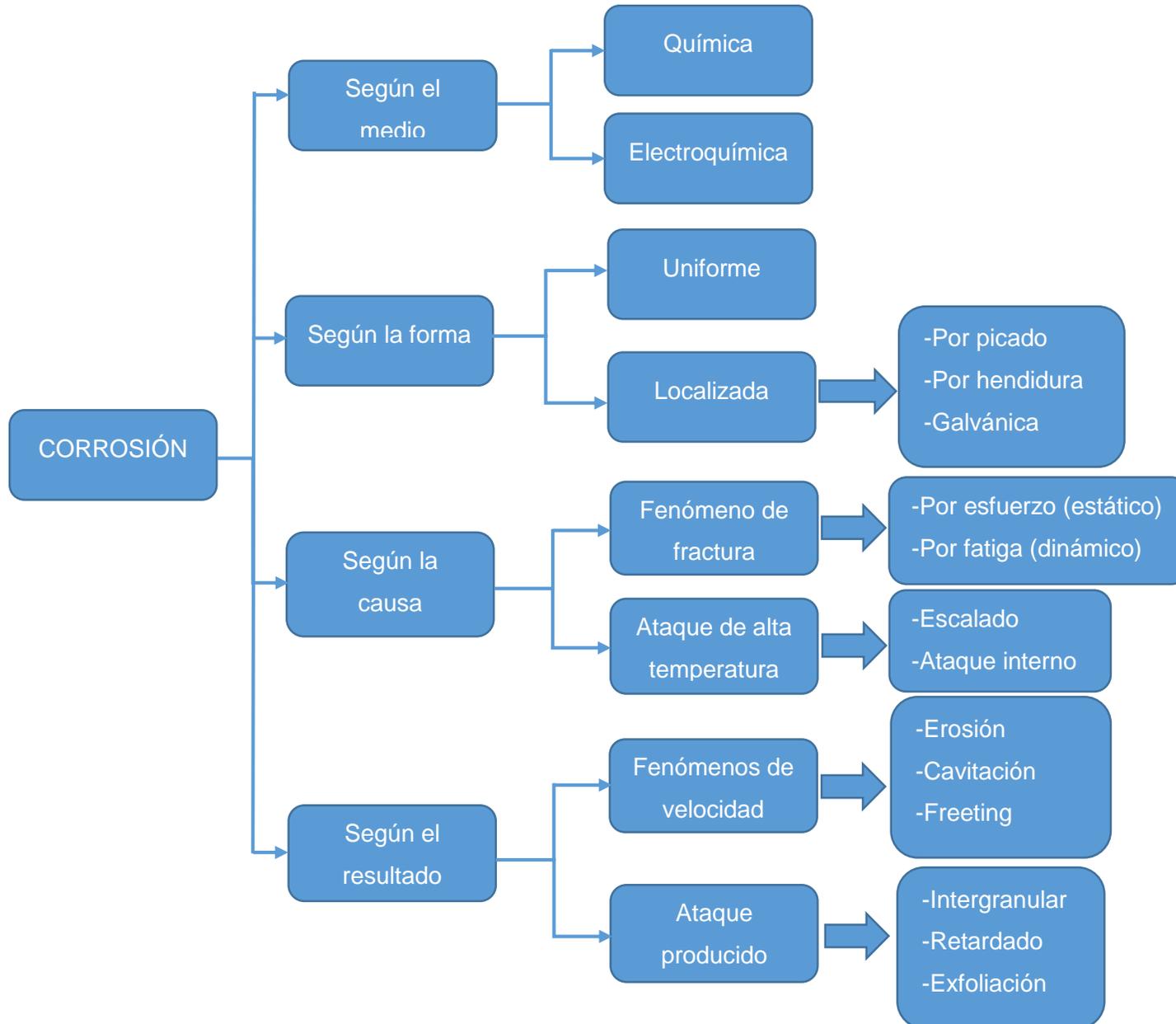
RAMOS, Arturo J. 2011. Curso de Ultrasonido Básico. [En línea] 27 de 07 de 2011. <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Curso%20Ultrasonido%20Basico.pdf>.

VALDEZ SALAS, Benjamin & SCHORR WIENER, Michael. 2013. *Corrosión y Preservación de la Infraestructura Industrial*. Madrid : OmniaScience, 2013. 978-84-940234-7-7.

VALDEZ SALAS, Benjamín. 2009. *Tecnología en la UABC*. México : Univeridad , 2009. 970-701-843-7.

ANEXOS

ANEXO A
FORMAS DE CORROSIÓN

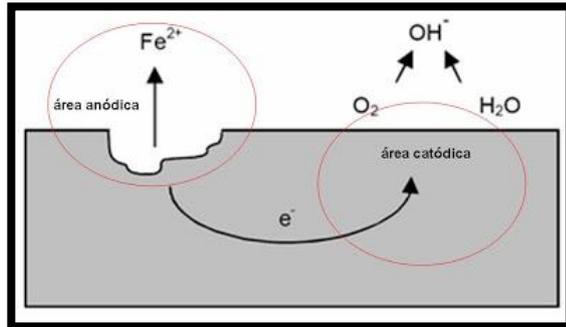


ANEXO A 1

Corrosión química



a) Corrosión sobre el metal

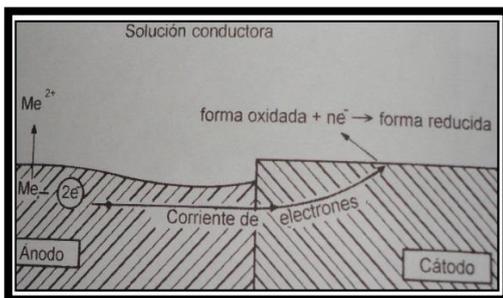


b) Reacción química

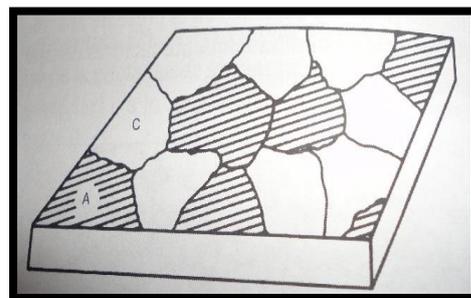
Fuente: <http://www.fullquimica.com/2013/12/corrosion-quimica-electroquimica.html>

ANEXO A 2

Corrosión electroquímica



a) Proceso de corrosión Electroquímico

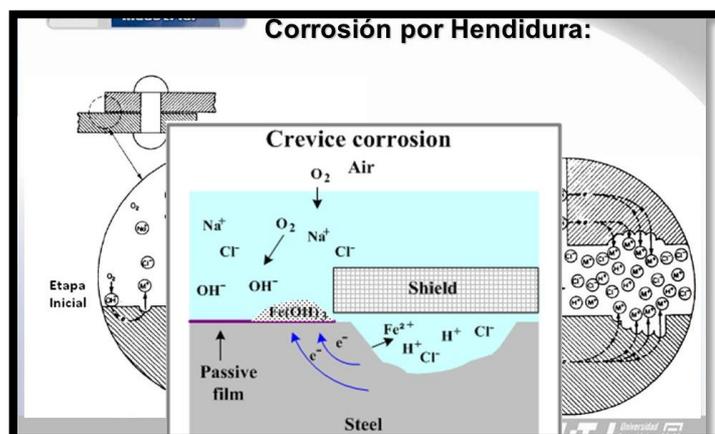


b) Superficie del material metálico

Fuente: Autores

ANEXO A 3

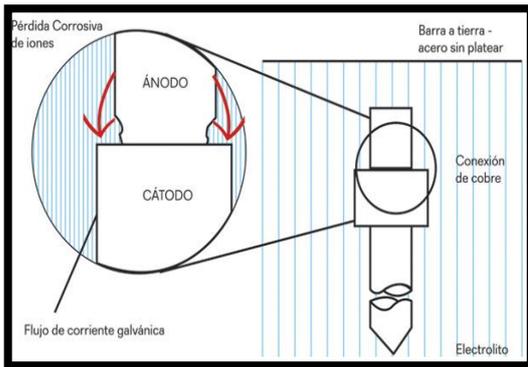
Mecanismo de la corrosión por hendidura



Fuente: <http://slideplayer.es/slide/144737/>

ANEXO A 4

Corrosión galvánica



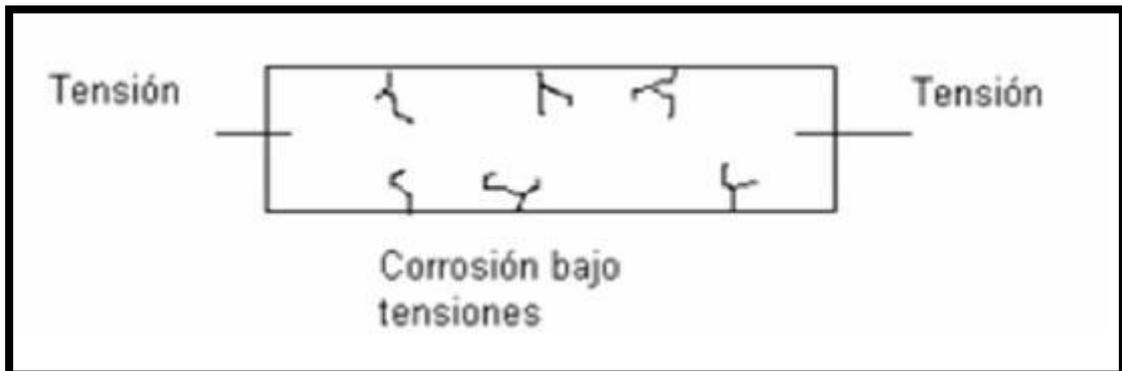
a) Proceso de Corrosión

b) Presencia de Corrosión en 2 metales distintos

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Corrosi%C3%B3n_galv%C3%A1nica

ANEXO A 5

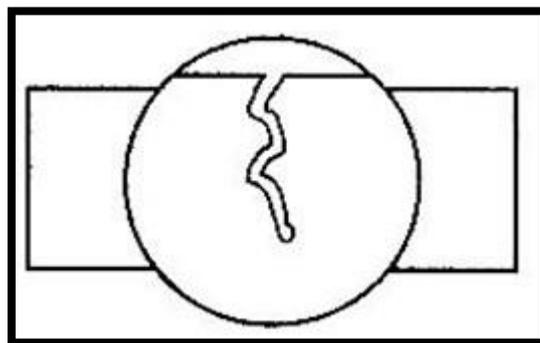
Corrosión bajo tensión



Fuente: <http://mantenimiento.1minutefor.com/>

ANEXO A 6

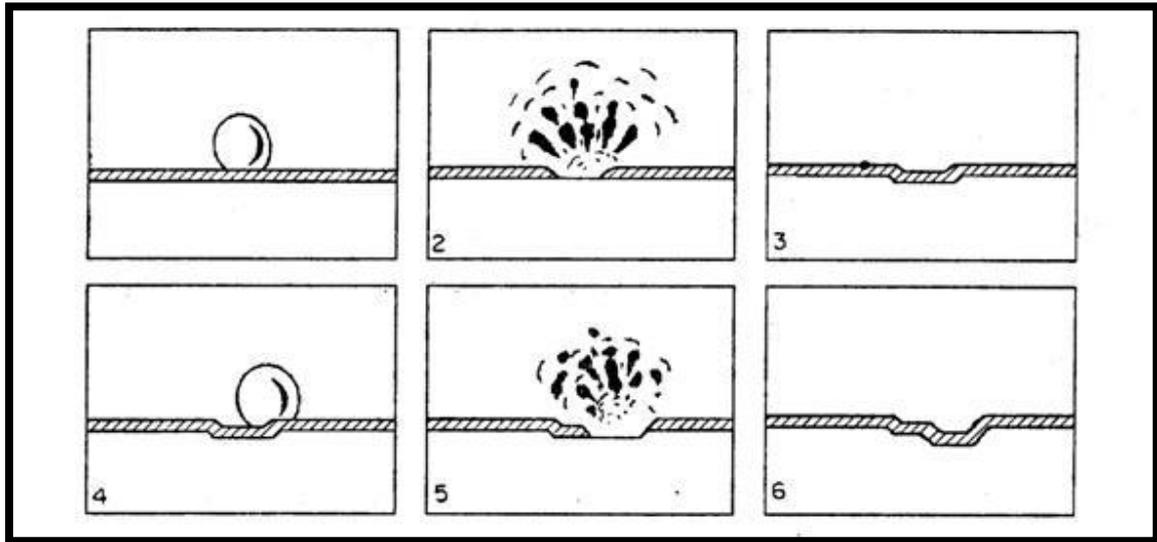
Corrosión por fatiga



Fuente: Autores

ANEXO A 7

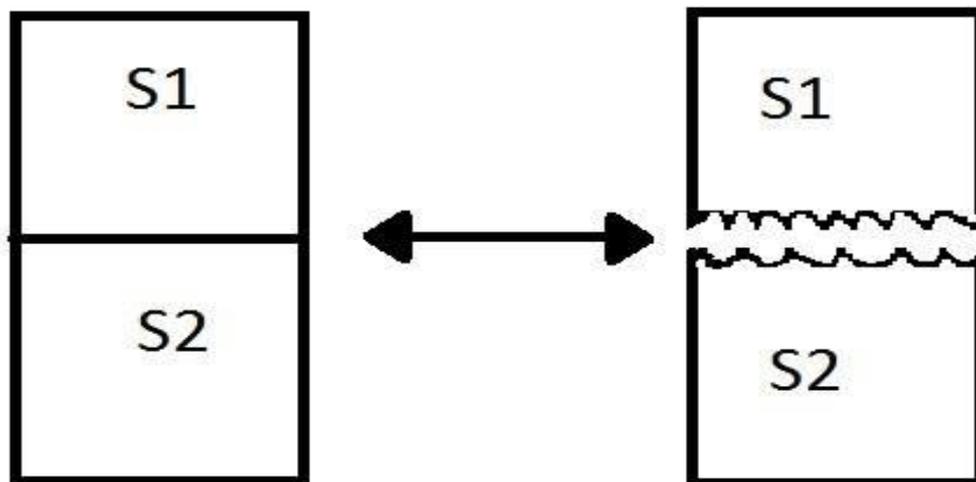
Proceso de corrosión por cavitación



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos96/estudio-desgaste-prematuro-tuberias-sistema-emulsion/estudio-desgaste-prematuro-tuberias-sistema-emulsion2.shtml>

ANEXO A 8

Representación esquemática que muestra dos superficies en contacto



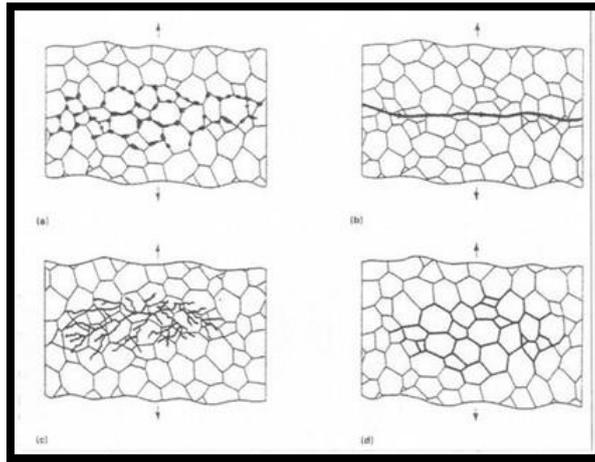
a) Aspecto aparente de la intercara

b) Aspecto real de la intercara

Fuente: Autores

ANEXO A 9

Corrosión intergranular



Fuente: <http://www.mailxmail.com/curso-replicas-metalograficas-2/replicas-microestructurales-1>

ANEXO A 10

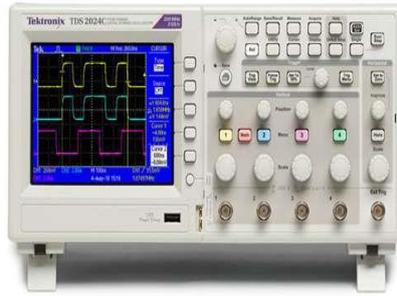
Corrosión por exfoliación



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos15/corrosion-gas/corrosion-gas.shtml>

ANEXO B

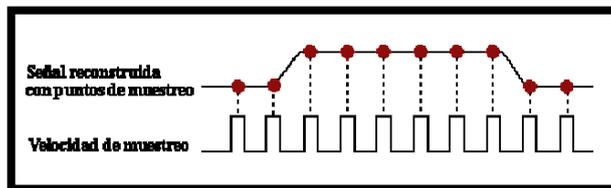
Osciloscopio TEKTRONIX TDS 2022C



Fuente: Tektronix

ANEXO B 1

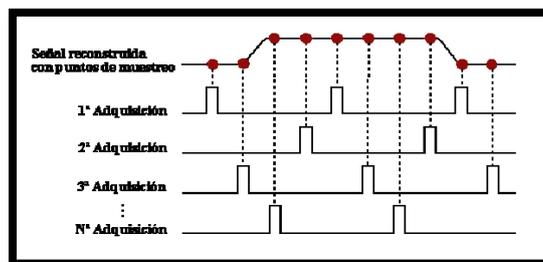
Muestreo de la señal de entrada en tiempo real



Fuente: Tektronix

ANEXO B 2

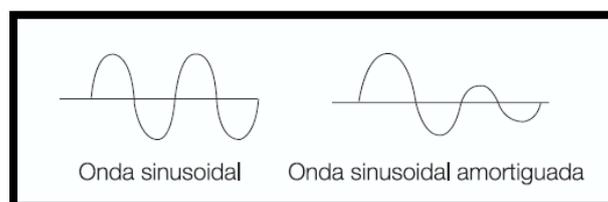
Esquema del muestreo en tiempo equivalente



Fuente: Tektronix

ANEXO B 3

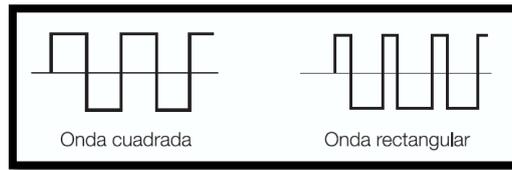
Ondas Sinusoidales



Fuente: Tektronix

ANEXO B 4

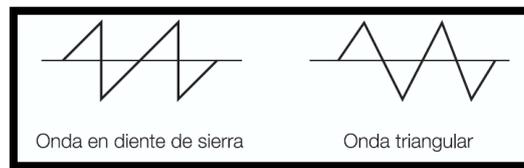
Onda rectangular y cuadrada



Fuente: Tektronix

ANEXO B 5

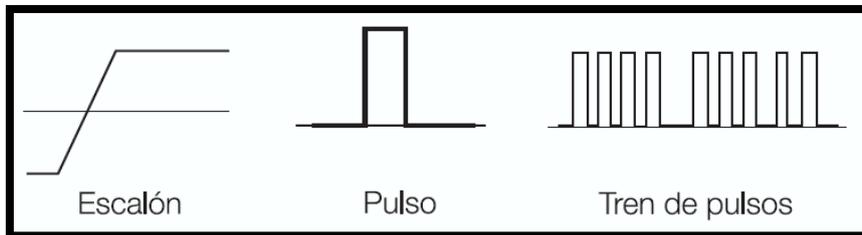
Ondas de dientes de sierra y triangulares



Fuente: Tektronix

ANEXO B 6

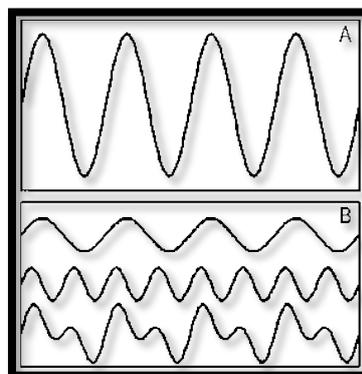
Onda en escalón y pulsos



Fuente: Tektronix

ANEXO B 7

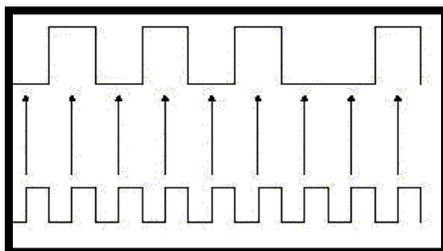
Señales periódicas (A) y no periódicas (B)



Fuente: Tektronix

ANEXO B 8

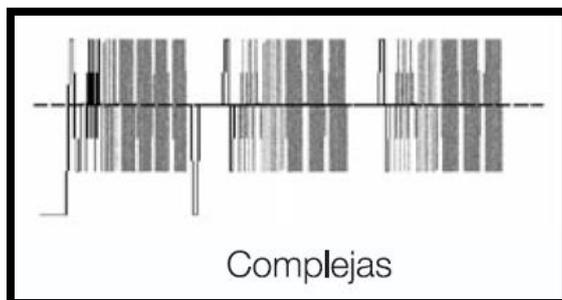
Señales asíncronas y síncronas



Fuente: Tektronix

ANEXO B 9

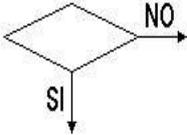
Ondas complejas



Fuente: Tektronix

ANEXO C

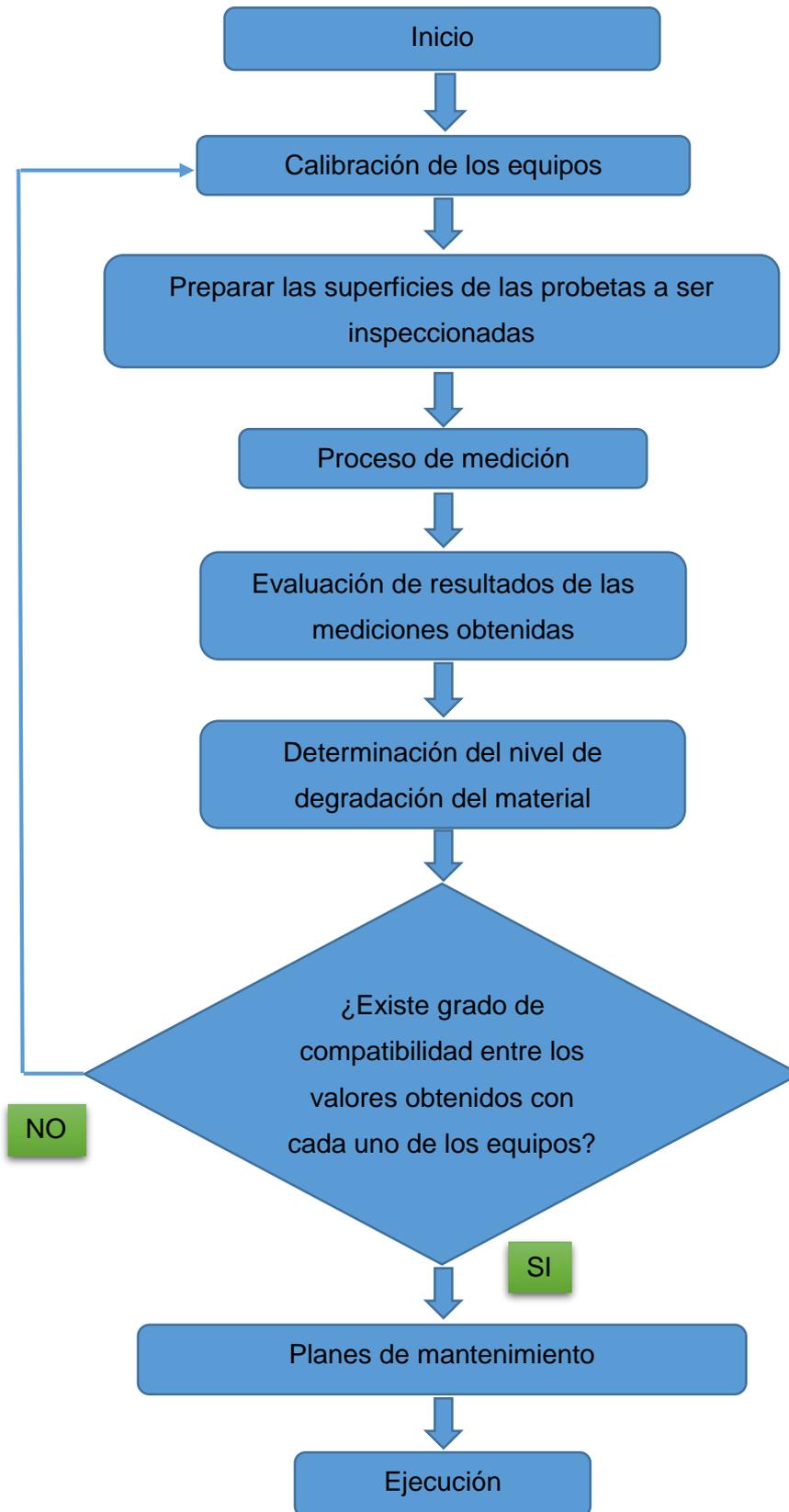
Símbolos para los diagramas

SÍMBOLOS PARA LOS DIAGRAMAS	
	El círculo representa el inicio y el final del proceso
	El rectángulo representa una parte o etapa del proceso.
	Representa el punto del proceso donde se debe tomar una decisión; dentro del rombo se escribe la pregunta. Las flechas muestran la dirección del proceso en función de la respuesta. Indica el sentido a seguir.

Fuente:<http://documentos.mideplan.go.cr/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/6a88eb-e4-da9f-4b6a-b366-425dd6371a97/guia-elaboracion-diagramas-flujo-2009.pdf>

ANEXO D

Flujograma de procesos para determinar los niveles de corrosión



Fuente: Autores

ANEXO E

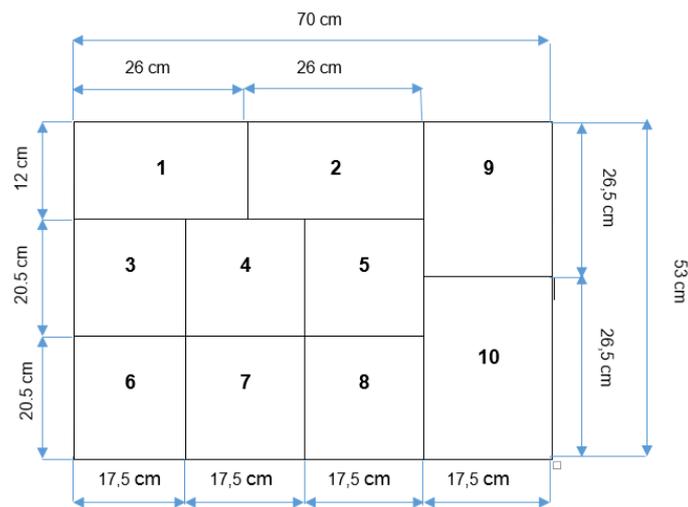
Muestrario de probetas de acero negro y hierro galvanizado



Fuente: Autores

ANEXO E 1

Medidas del muestrario de probetas.



Fuente: Autores

1. Probeta de hierro galvanizado de $2 \frac{7}{16}$ "
2. Probeta de acero negro de 3"
3. Probeta de hierro galvanizado de $2 \frac{7}{16}$ "
4. Probeta de hierro galvanizado de $2 \frac{7}{16}$ "
5. Probeta de hierro galvanizado de 2"
6. Probeta de acero negro de $4 \frac{11}{16}$ "
7. Probeta de acero negro de 3"
8. Probeta de acero negro de 2"
9. Probeta de acero negro de $1 \frac{11}{16}$ "
10. Probeta de acero negro de 2"